

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**APLICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE
PRODUTO EM UMA EMPRESA DE MÉDIO PORTE**

Vitor Hugo Ruffoni

Porto Alegre, 2000

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**APLICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE
PRODUTO EM UMA EMPRESA DE MÉDIO PORTE**

Vitor Hugo Ruffoni

Orientador: Professora Dra. Carla S. ten Caten

Banca Examinadora:

Professor Dr. José Luis Duarte Ribeiro

Professor Dr. Gilberto Dias da Cunha

Professor Dr. Vilson João Batista

Professora M. Eng. Márcia Elisa Echeveste

**Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado Profissionalizante em
Engenharia apresentado ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de
Produção como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em
Engenharia – modalidade Profissionalizante.**

Porto Alegre, 2000

Esta dissertação foi analisada e julgada adequada para a obtenção do título de mestre em ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo orientador e pelo coordenador do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof^ª. Dra. Carla S. ten Caten

PPGEP/UFRGS

Prof^ª. Helena Beatriz Cybis

Coordenadora do Mestrado Profissionalizante
em Engenharia

BANCA EXAMINADORA:

Professor Dr. José Luis Duarte Ribeiro

DEPROT/PPGEP/UFRGS

Professor Dr. Gilberto Dias da Cunha

DEPROT/PPGEP/UFRGS

Professor Dr. Vilson João Batista

DEMEC/UFRGS

Professora M. Eng. Márcia Elisa Echeveste

Estatística/UFRGS

À minha esposa Jane e aos meus filhos Tatiana, Janaína e Estêvão a razão deste desafio.

AGRADECIMENTOS

Aos amigos e funcionários da Merkantil que participaram deste trabalho e no interesse demonstrado em adquirir novos conhecimentos.

Aos amigos do mestrado profissional, em especial ao André Gibk, Márcio Hoffchneider, Silvério C. da Cunha e William Luchi.

Ao amigo Rubilar Toniazzo, incentivador deste mestrado, com o qual houve uma troca de conhecimentos, que muito contribuíram para a elaboração deste trabalho.

À Prof. Dra. Carla S. ten Caten, pela habilidade na orientação e transmissão de conhecimentos, pela revisão conceitual e sugestões apresentadas e pelo tempo dedicado, contribuindo significativamente para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Gilberto Dias da Cunha, ao Prof. Dr. José Luiz Duarte Ribeiro, ao Prof. Dr. Vilson João Batista e à Prof. M. Eng. Márcia Elisa Echeveste que gentilmente aceitaram o convite para comporem esta banca examinadora e enriqueceram este trabalho com sugestões apresentadas.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE QUADROS	xi
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT	xiv
1 CONSIDERAÇÕES	1
1.1 Introdução	1
1.2 Tema e justificativa	3
1.3 Objetivo	4
1.4 Metodologia	5
1.5 Estrutura	7
1.6 Limitações	8
2 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO	9
2.1 Conceitos e tipos de produtos e projetos.....	9
2.2 Descrição do produto em estudo	15
2.3 Metodologia de desenvolvimento de projeto e de produtos industriais	23
2.3.1 Definição da tarefa	27
2.3.2 Definição do conceito	27
2.3.3 Projeto preliminar	28
2.3.4 Projeto detalhado	28
2.4 Metodologia de desenvolvimento adotada na empresa	29
3 ENGENHARIA SIMULTÂNEA	34
3.1 Conceito de ES	34
3.1.1 Força-tarefa	38
3.2 Características da empresa em estudo	39
3.2.1 Ferramentas de apoio	43
3.2.1.1 Projeto orientado à manufatura (DfM)	45
4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO PRELIMINAR	48
4.1 Conceitos de QFD	48
4.1.1 Abordagem de Akao	51
4.1.2 Abordagem de Bob King	52
4.1.3 Abordagem de Macabe	52
4.1.4 Abordagem de Ribeiro, Echeveste & Danilevich	53
4.2 Abordagem do QFD adotada na empresa em estudo	53
4.2.1 Pesquisa de mercado: obtendo a voz do cliente	54
4.2.1.1 Questionário aberto	56
4.2.1.2 Questionário fechado	58
4.2.2 Matriz da qualidade	60
4.2.2.1 Desdobramento da qualidade demandada	62
4.2.2.2 Desdobramento das características da qualidade com especificações	62
4.2.2.3 Correlações entre as características da qualidade	63
4.2.2.4 Relacionamento da qualidade demandada DQ_{ij}	63

4.2.2.5	Importância ID_i	66
4.2.2.6	Avaliação estratégica E_i	66
4.2.2.7	Avaliação competitiva M_i	67
4.2.2.8	Priorização da qualidade demandada ID_i^*	67
4.2.2.9	Importância das características da qualidade IQ_j	68
4.2.2.10	Avaliação da dificuldade de atuação sobre as características da qualidade D_j	69
4.2.2.11	Avaliação competitiva das características da qualidade B_j	69
4.2.2.12	Priorização das características da qualidade IQ_j^*	70
4.2.3	Matriz das partes	72
4.2.3.1	Desdobramento do produto	73
4.2.3.2	Relacionamento das características da qualidade com as partes do produto PQ_{ij}	73
4.2.3.3	Definição da importância das partes IP_i	75
4.2.3.4	Avaliação da dificuldade e tempo de implantação das melhorias na partes F_i e T_i	75
4.2.3.5	Priorização das partes IP_i^*	76
4.2.4	Matriz dos processos	77
4.2.4.1	Desdobramento dos processos em suas etapas constituintes ...	78
4.2.4.2	Relacionamento das características da qualidade com os processos PD_{ij}	78
4.2.4.3	Definição da importância dos processos IPr_i	80
4.2.4.4	Avaliação da dificuldade e tempo de implantação de melhorias nos processos F_i e T_i	80
4.2.4.5	Priorização dos processos IPr_i^*	81
4.2.5	Matriz das características das partes	82
4.2.6	Matriz dos parâmetros dos processos	86
4.2.7	Projeto preliminar	89
4.2.8	Planejamento da qualidade	92
4.2.8.1	Plano de melhoria das especificações	93
4.2.8.2	Plano de melhoria das partes	94
4.2.8.3	Plano de melhoria dos processos	94
5	DESENVOLVIMENTO E VERIFICAÇÃO DO PROJETO.....	96
5.1	Conceitos de projetos de experimentos	96
5.1.1	Terminologia de projetos de experimentos	99
5.1.2	Tipos de projeto de experimentos	101
5.2	Fases do projeto de experimentos	105
5.3	Fases dos experimentos do produto em estudo	107
5.3.1	A voz do cliente (O QUE)	107
5.3.2	A voz do engenheiro (COMO).....	107
5.3.3	Planejamento final e execução	114
5.3.3.1	Facilidade de montagem/desmontagem do tubo	114
5.3.3.2	Resistência a vazamentos em condições de vibração	115
5.3.3.3	Resistência à tração	117
5.3.4	Análise dos resultados dos experimentos	117
5.3.4.1	Análise da facilidade de montagem/desmontagem	118
5.3.4.2	Análise da resistência a vazamento em condições de vibração	121

5.3.4.3	Análise da resistência à tração	124
5.3.5	Otimização global	127
6	DEFINIÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO E ANÁLISE CRÍTICA, FABRICAÇÃO DO LOTE PILOTO, VALIDAÇÃO DO PRODUTO E LIBERAÇÃO PARA A PRODUÇÃO	134
6.1	Definição do processo de fabricação e análise crítica	134
6.2	Fabricação do lote piloto e validação do produto	137
6.3	Liberação para a produção	137
7	CONCLUSÕES	147
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	151
	ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Conexão engate rápido	18
Figura 2. Conexões utilizadas em circuitos industriais	19
Figura 3. Circuito pneumático do freio a ar	20
Figura 4. Conexões e válvulas	22
Figura 5. Importância das conexões no circuito pneumático de freio a ar.....	22
Figura 6. Fluxograma da metodologia de desenvolvimento de produto adotada pela empresa no estudo de caso	33
Figura 7. Organograma atual da empresa na área industrial	41
Figura 8. Organograma para a força-tarefa	42
Figura 9. Matriz da qualidade	61
Figura 10. Matriz da qualidade com seus cálculos	65
Figura 11. Priorização das características da qualidade demandada	68
Figura 12. Características da qualidade priorizadas	71
Figura 13. Matriz das partes	72
Figura 14. Matriz das partes com seus cálculos	74
Figura 15. Priorização das partes	76
Figura 16. Matriz dos processos	77
Figura 17. Matriz dos processos com seus cálculos	79
Figura 18. Priorização dos processos	81
Figura 19. Matriz das características das partes	82
Figura 20. Corpo linear	83
Figura 21. Corpo não-linear	83
Figura 22. Pinça	83
Figura 23. Inserto	83
Figura 24. Macho giratório	83
Figura 25. Anel de vedação	84
Figura 26. Anel “o” ring do tubo, do macho giratório e do anel de vedação.....	84
Figura 27. Matriz das características das partes com seus cálculos	85
Figura 28. Matriz dos parâmetros dos processos	86
Figura 29. Matriz dos parâmetros dos processos com seus cálculos	88
Figura 30. Conexão Proposta	91
Figura 31. Modelo de um processo ou sistema	98
Figura 32. Matriz para o planejamento do projeto de experimentos	110
Figura 33. Figura esquemática do experimento para conexão proposta	113
Figura 34. Deslocamento do tubo	116
Figura 35. Equipamento para teste de resistência a vazamentos em condições de vibração	116
Figura 36. Pareto para facilidade de montagem/desmontagem	119
Figura 37. Facilidade de montagem/desmontagem x diâmetro externo x largura do rasgo	119
Figura 38. Facilidade de montagem/desmontagem x espessura x largura do rasgo	119
Figura 39. Facilidade de montagem/desmontagem x largura do rasgo	120
Figura 40. Facilidade de montagem/desmontagem x diâmetro externo	120
Figura 41. Facilidade de montagem/desmontagem x espessura	120
Figura 42. Facilidade de montagem/desmontagem x diâmetro interno	120
Figura 43. Pareto para resistência à vibração	122

Figura 44. Resistência à vibração x espessura x largura do rasgo	122
Figura 45. Resistência à vibração x diâmetro interno x largura do rasgo	122
Figura 46. Resistência à vibração x diâmetro interno x diâmetro externo	123
Figura 47. Resistência à vibração x diâmetro interno	123
Figura 48. Resistência à vibração x diâmetro externo	123
Figura 49. Resistência à vibração x espessura	123
Figura 50. Pareto para resistência à tração.....	125
Figura 51. Resistência à tração x diâmetro externo x diâmetro interno	125
Figura 52. Resistência à tração x diâmetro externo x largura do rasgo	125
Figura 53. Resistência à tração x largura do rasgo	126
Figura 54. Resistência à tração x diâmetro externo	126
Figura 55. Resistência à tração x espessura	126
Figura 56. Projeto definitivo pinça	133
Figura 57. Projeto definitivo corpo	133
Figura 58. Projeto definitivo inserto	133
Figura 59. FTA – Vazamentos	138
Figura 60. FTA – Montagem do tubo na conexão	139
Figura 61. Inspeção visual e colocação do “o” ring no corpo	141
Figura 62. Montagem do inserto	142
Figura 63. Colocação da pinça e anéis “o” ring no macho giratório	143
Figura 64. Montagem do macho giratório e testes de obstrução, vazamento e retenção	144
Figura 65. Montagem do anel de vedação e “o” ring na conexão linear e no macho giratório	145
Figura 66. Família de produtos	146

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Classificação de produtos industriais baseada em Back	13
Quadro 2. Metodologia de Suh, Asimow, Pahl & Beitz	25
Quadro 3. Fases e etapas do projeto conforme Pahl & Beitz	26
Quadro 4. Tabulação do questionário aberto	57
Quadro 5. Árvore da qualidade demandada sem os pesos absolutos	58
Quadro 6. Questionário fechado	59
Quadro 7. Árvore da qualidade demandada com os pesos absolutos	60
Quadro 8. Variáveis de resposta	109
Quadro 9. Parâmetros do processo	111
Quadro 10. Definição dos níveis dos fatores controláveis	112
Quadro 11. Fatores controláveis mantidos constantes	113
Quadro 12. Otimização individual para facilidade de montagem/desmontagem	127
Quadro 13. Otimização individual para resistência a vazamento em condições de vibração.....	127
Quadro 14. Otimização individual para resistência à tração	128
Quadro 15. Resultados dos testes de resistência a vazamento em condições de vibração, resistência à tração e facilidade de montagem/desmontagem	132
Quadro 16. Definição dos parâmetros controláveis	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Escala de intensidade DQ_{ij}	64
Tabela 2. Escala de intensidade para avaliação estratégica E_i	66
Tabela 3. Escala de intensidade para avaliação competitiva M_i	67
Tabela 4. Escala de intensidade de dificuldade técnica D_j	69
Tabela 5. Escala de intensidade para avaliação competitiva B_j	70
Tabela 6. Escala de intensidade para dificuldade e tempo de implantação	75
Tabela 7. Identificação das amostras	114
Tabela 8. Escala de intensidade para avaliação de montagem/desmontagem.....	115
Tabela 9. Resultados dos testes de facilidade de montagem/desmontagem.....	115
Tabela 10. Resultados dos testes de resistência a vazamentos em condições de vibração	116
Tabela 11. Resultados dos testes de resistência à tração	117
Tabela 12. Matriz de correlações entre as variáveis de resposta	118
Tabela 13. Análise de variância para facilidade de montagem/desmontagem	118
Tabela 14. Análise de variância para resistência a vazamento em condições de vibração	121
Tabela 15. Análise de variância para resistência à tração	124
Tabela 16. Dados de produção para conexão proposta	135
Tabela 17. Custos individuais dos dois sistemas de conexões	136

RESUMO

Esta dissertação apresenta o desenvolvimento de produto em um fabricante de conexões. Mais especificamente, este trabalho apresenta a aplicação de metodologia de desenvolvimento de produto em uma empresa de médio porte, em um ambiente de engenharia simultânea, buscando o enfoque da qualidade em todas as fases, e realizando adaptações da metodologia quando necessário. A dissertação apresenta ainda uma revisão da literatura abordando: Desenvolvimento do Produto, Engenharia Simultânea, Desenvolvimento da Função Qualidade (*Quality Function Development* QFD) e Projeto de Experimentos (*Design of Experiments* DOE).

A engenharia simultânea pode ser considerada como sendo uma metodologia para desenvolvimento de produtos, objetivando otimizar tempo, custo, qualidade do produto e seu processo produtivo. A sinalização mais evidente da engenharia simultânea é o conceito para o trabalho em equipe, aproveitando as características multifuncionais próprias das pequenas e médias empresas.

A identificação dos requisitos do cliente, transformadas em ações para o projeto, tem como ferramenta fundamental o QFD. A sua aplicação, com os devidos registros torna-se uma importante fonte de dados para novos desenvolvimentos.

A aplicação do projeto de experimentos auxilia o desenvolvimento de produto, pois identificam como os parâmetros do projeto influenciam as características da qualidade, orientando para testes mais objetivos com conseqüente ganho de tempo e menores custos de projeto.

Palavras Chaves: Conexões, Desenvolvimento de Produto, Engenharia Simultânea, QFD e Projeto de Experimentos.

ABSTRACT

This dissertation presents the product development in a manufacturer of fittings. More specifically, this work presents the application of methodology of product development in a company of medium load, in an environment of concurrent engineering, looking for the focus of the quality in all of the phases, and accomplishing adaptations of the methodology when necessary. The dissertation still presents a revision of the literature approaching: Development of the Product, Concurrent Engineering, Quality Function Development (QFD) and Design of Experiments(DOE).

The concurrent engineering can be considered as being a methodology for development of products, aiming at to optimize time, cost, quality of the product and productive process. The most evident signalling of the concurrent engineering is the concept for the work in team, taking advantage the characteristics own multifunctionals of the small ones and mediuns companies.

The identification of the customer's requirements, transformed in actions for the project, has as fundamental tool QFD. The application, with the due registrations becomes an important source of data for new developments.

The application of DOE aids the product development, because they identify as the parameters of the project influence the characteristics of the quality, guiding for more objective tests with consequent earnings of time and smaller project costs.

Key words: *Fittings, Development of Product, Concurrent Engineering, QFD and DOE.*

1 CONSIDERAÇÕES

1.1 Introdução

O mercado consumidor, a partir da década de 80, tem influenciado o setor produtivo, provocando mudanças no desenvolvimento de produtos por parte das empresas. Na década de 90, o grau de diversificação dos produtos é cada vez maior e o ciclo de vida é menor. Nos sistemas de produção (fabricação), estes fatores resultam em lotes de fabricação cada vez menores, fazendo com que as empresas sejam flexíveis neste aspecto. Na realidade, pode-se afirmar que isto é uma consequência natural da globalização dos mercados. É importante, então, que haja uma adequação nas formas de produção e desenvolvimento de produtos.

Estes fatos indicam uma necessidade de entendimento e integração dos diversos recursos da empresa, como vendas, desenvolvimento (projeto) e produção (fabricação), até então identificados com suas atribuições específicas. O objetivo maior desta integração é o de incorporar todos os domínios de conhecimento do pessoal que participa de uma equipe multidisciplinar.

A abertura da economia, a partir de 1990, se tornou um desafio para as Pequenas e Médias Empresas (PMEs), até então acostumadas a copiar produtos importados e adaptá-los às condições próprias de matéria-prima e processos.

A competitividade se tornou condição de sobrevivência, e está orientando as empresas a reavaliarem seus métodos de desenvolvimento para clientes (consumidores), cada vez mais preocupados com aspectos de qualidade e custo.

O aspecto qualidade do produto deve ser incorporado não como uma condição especial para determinado produto, mas sim agregado a todos os produtos através de uma metodologia de desenvolvimento de produto adaptada ao cenário das PMEs brasileiras. Estes desenvolvimentos, atualmente, levam em conta o conhecimento de fabricação que as PMEs têm em relação aos produtos. Estão baseados em conhecimentos do projeto tradicional (quando é realizado) e em produtos similares da concorrência.

A busca de competitividade pelas empresas industriais está associada a melhorias de produtos e processos produtivos (fabricação), num tempo cada vez menor. Melhorias de produtos estão relacionadas a alterações no projeto e melhorias de processos produtivos (fabricação) estão relacionadas a produzir o que foi projetado com maior qualidade e custos menores.

A mudança na mentalidade empresarial objetiva uma visão mais ampla do desenvolvimento do produto que contempla a preocupação com a satisfação do cliente (consumidor), a manufaturabilidade do produto, o meio ambiente, os aspectos ergonômicos e a reciclagem entre outros.

No cenário nacional não se pode ignorar o processo de instabilidade e inflação vivido pela economia brasileira nas duas últimas décadas, que desestruturou a capacidade da indústria brasileira. Na década de 90 a economia se tornou muito aberta, ficando a indústria nacional à mercê de uma concorrência internacional, com produtos de elevado conteúdo tecnológico e modernos sistemas produtivos, que contam com máquinas de última geração. A entrada no mercado globalizado exige que as empresas nacionais inovem e agreguem conteúdo tecnológico aos seus produtos.

1.2 Tema e justificativa

O tema desta dissertação é a integração de ferramentas como o Projeto de Experimentos (DOE), Desenvolvimento da Função Qualidade (QFD) e Análise da Árvore de Falhas (FTA) no desenvolvimento de produto. O produto é uma conexão utilizada em circuitos de freio a ar para caminhões e implementos rodoviários, mais especificamente em produtos do tipo semi-reboques em uma empresa de médio porte fabricante de conexões.

O aumento da concorrência, as rápidas mudanças tecnológicas, a diminuição do ciclo de vida dos produtos e a maior exigência por parte dos consumidores orientam as empresas para que tenham agilidade, produtividade e alta qualidade, que dependem, necessariamente, da eficiência e eficácia da empresa no processo de desenvolvimento de produto. (Rozenfeld, 1999).

A velocidade de informação que os clientes (consumidores) disponibilizam atualmente está associada ao desenvolvimento tecnológico. A geração de novos mercados é uma consequência lógica deste fato. Atingir as necessidades e desejos dos clientes é a meta das empresas, e para tanto é necessário projetar e desenvolver produtos com qualidade e em tempos menores.

Segundo Juran (1992), a qualidade de um produto é uma combinação entre a capacidade de desempenhar funções requeridas pelo mesmo e a introdução de características que levem o consumidor a optar por esse produto.

A obtenção de produtos com qualidade e em tempos menores é obtida através da integração das diversas fases do Desenvolvimento do Produto, de maneira a permitir que seja apresentado ao mercado um produto final adequado ao uso. Os índices de qualidade das empresas e de satisfação de seus clientes são os indicadores de sua permanência em um mercado cada vez mais competitivo e globalizado.

Segundo Kotler *apud* Revista Amanhã (1999), o cenário atual exige da corporação: ciclo acelerado de desenvolvimento de novos produtos; foco na cadeia de

valor; produtos adaptados e/ou personalizados e melhorias em relação com a concorrência.

No conceito de Cunha (1999), o atual cenário competitivo da disputa em mercados regionais ou globais exige que as empresas industriais tenham a capacidade de reagir, em intervalos de tempo, às necessidades de desenvolvimento de novos produtos. Com isso, pode-se melhor aquilatar a importância das empresas industriais passarem a basear o desenvolvimento do produto nos pressupostos de Engenharia Simultânea.

Segundo Stalk e Hout *apud* Casaroto *et al* (1999), a década de 90 é a década da responsividade, ou seja, a década da resposta rápida. Uma das respostas rápidas é a mudança rápida, especialmente na introdução de novos produtos.

Muitas vezes, processos de decisões burocráticas no desenvolvimento de produtos ultrapassam a habilidade técnica dos projetistas. May *apud* Slack *et al* (1996) cita o caso da IBM, que determinou o padrão para computadores pessoais, mas foi empurrada para fora do mercado por concorrentes menores, mais ágeis e competentes. Os produtos da IBM chegaram no mercado um ano atrasados em relação aos seus concorrentes.

Esta nova realidade, devido à acelerada velocidade de informação nos processos de desenvolvimento de novos produtos, inclusive melhorias ou adequações, deve ser incorporada à cultura das empresas. Para aumentar esta velocidade, dois novos conceitos surgiram: o da força-tarefa ou equipes multidisciplinares e o de engenharia simultânea.

1.3 Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é aplicar uma metodologia de desenvolvimento de produto em uma empresa de médio porte.

Os objetivos específicos são:

- a) desenvolver uma conexão que atenda os requisitos dos clientes e redução de custos;
- b) verificar a qualidade em todas as fases do desenvolvimento do produto;
- c) adaptar a estrutura da empresa a um ambiente de engenharia simultânea;
- d) identificar na literatura e selecionar as ferramentas e etapas pertinentes para o desenvolvimento do produto;
- e) difundir um método de desenvolvimento na cultura da empresa.

A empresa-alvo deste trabalho é a Conexões Merkantil, fabricante de conexões para sistemas de ar comprimido e óleo-dinâmicos. Fornece para montadoras de máquinas e implementos agrícolas, fabricantes de semi-reboques, ônibus, e outros produtos, nos quais estão presentes componentes pneumáticos e hidráulicos (óleo-dinâmicos).

1.4 Metodologia

O método de pesquisa científica proposto para esta dissertação de mestrado enquadra-se, de acordo com a classificação apresentada por Roesch (1994), na categoria de Pesquisa Ação.

A Pesquisa Ação consiste em resolver problemas específicos dentro de um grupo, organização e empresa. A Pesquisa Ação torna-se parte do processo de mudança, ao encorajar as pessoas envolvidas com o programa a estudar seus próprios problemas com vistas a resolvê-los. Nesse método de pesquisa, há pouca distinção entre pesquisa e ação, pois os métodos são informais e específicos ao problema, pessoa, empresa, etc. A Pesquisa Ação implica em um alto grau de envolvimento entre pesquisador e pesquisado, ao trabalhar uma questão de interesse compartilhado. Com isso, esse método sugere impressões de parâmetros para julgamento sobre o processo para os seus participantes, pois estes podem solucionar problemas através de seu estudo.

A metodologia adotada foi realizada a partir de uma revisão bibliográfica sobre o desenvolvimento de produto, a metodologia de engenharia simultânea e as ferramentas de apoio como o desdobramento da função qualidade (QFD) e o projeto de experimentos (DOE).

Inicialmente, foi realizada uma avaliação do cenário atual de desenvolvimento de produto da empresa, adaptando-o aos conceitos de engenharia simultânea; a adaptação da engenharia simultânea foi realizada baseada nas características multifuncionais do pessoal de projeto, produção e processos. Pretende valer-se da característica de relacionamento atual existente entre o desenvolvimento de produto e a produção.

As fases da aplicação da metodologia de desenvolvimento de produto consistiram:

- realizar uma revisão bibliográfica sobre desenvolvimento de produto, engenharia simultânea e ferramentas de apoio;
- identificar as etapas pertinentes para o desenvolvimento de produto;
- identificar as ferramentas adequadas;
- montar um fluxograma;
- conscientizar o pessoal envolvido através de palestras focando principalmente os conceitos de desenvolvimento de produto, engenharia simultânea e força-tarefa de maneira a incorporar na cultura da empresa;
- treinar o pessoal envolvido, transmitindo inicialmente os conceitos teóricos das ferramentas aplicadas (QFD e DOE) e salientar que durante o desenvolvimento de produto esta aplicação das ferramentas torna-se mais clara;
- aplicar a metodologia.

Por último, aplicou-se a metodologia de desenvolvimento de produto ao projeto de uma conexão para sistemas de freio a ar.

A utilização de uma sistemática para desenvolver este tipo de produto (conexões) já é uma prática da empresa, mas não como metodologia, utilizando ferramentas adequadas, e sim baseada em experiências anteriores de fabricação do produto.

1.5 Estrutura

Este trabalho está estruturado em sete capítulos.

O primeiro trata das considerações, com introdução, tema e justificativa, objetivos, metodologia, a presente estrutura e as limitações do trabalho.

Com o objetivo de ilustrar as etapas de desenvolvimento de produto, a revisão bibliográfica será apresentada nos capítulos 2, 3, 4, 5 e 6 , juntamente com a aplicação da metodologia no estudo de caso. Espera-se que essa forma de apresentação auxilie a compreensão e leitura do texto.

Mais especificamente o segundo capítulo trata do desenvolvimento de produtos, conceitos e tipos de produtos e projetos industriais, o produto em estudo, metodologias de desenvolvimento do projeto e metodologia de desenvolvimento adotado pela empresa.

O terceiro capítulo trata da engenharia simultânea: conceitos e características da empresa em estudo.

O quarto capítulo trata do desenvolvimento do projeto preliminar utilizando o QFD como ferramenta de apoio, conceitos do QFD e a abordagem adotada na empresa, pesquisa de mercado, matrizes da qualidade, das partes, dos processos, das características das partes e dos parâmetros dos processos, do projeto preliminar e do planejamento da qualidade.

O quinto capítulo trata do desenvolvimento e verificação do projeto utilizando-se da ferramenta do projeto de experimentos, conceitos do projeto de experimentos, fases do projeto de experimentos e roteiro para o planejamento.

O sexto capítulo trata da definição do processo de fabricação e análise crítica, fabricação do lote piloto, validação do produto e liberação para a produção.

O sétimo capítulo apresenta as conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

1.6 Limitações

O trabalho não pretende esgotar a revisão bibliográfica sobre a metodologia de desenvolvimento de produto e ferramentas utilizadas nas diferentes etapas da metodologia.

A limitação do trabalho, deve-se ao fato da metodologia ser aplicada no estudo de caso para o desenvolvimento de conexões a partir de um projeto preliminar, não considerando o caso de um projeto inovador ou de raiz. Outra limitação deve ser o fato da metodologia não apresentar um cronograma para a realização das atividades e não avaliar o ganho de tempo no desenvolvimento de produto advindo de sua aplicação.

A dificuldade da implantação da metodologia deve-se ao fato de não existir, inicialmente, o domínio total das ferramentas que se pretende implantar na empresa por parte do pessoal envolvido. Porém, a médio prazo, pretende-se que a metodologia e as ferramentas utilizadas sejam de conhecimento de todos os profissionais da empresa.

2 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Neste capítulo, são apresentados os fundamentos do desenvolvimento de produto; no item 2.1, aborda-se conceitos e tipos de produtos e projetos, no item 2.2, descreve-se o produto em estudo; no item 2.3, apresenta-se uma visão geral da metodologia de desenvolvimento de projeto de produtos industriais, e comenta-se nos sub-itens 2.3.1, a definição da tarefa, no sub-item 2.3.2, o projeto conceitual, no sub-item 2.3.3, o projeto preliminar e no sub-item 2.3.4 o projeto detalhado, associando cada fase às características do produto-foco deste trabalho; no item 2.4, apresenta-se a metodologia de desenvolvimento de produtos adotada na empresa.

2.1 Conceitos e tipos de produtos e projetos

A palavra projetar vem do latim *proietare*. Segundo Larousse (1999), projetar é lançar, dirigir adiante, ou à distância. A capacidade de criar é o que caracteriza a condição humana, respondendo a uma de suas principais necessidades: ‘conhecer’, isto é, o desejo de conhecer o ambiente em torno de si, através de suas dimensões permitindo compará-las e diferenciá-las.

Segundo Manzini (1992), o homem moderno não identifica seu próprio ambiente com a natureza, mas com o mundo das coisas artificiais, feitas pelo homem e para o homem, mediante uma técnica, da qual está orgulhoso, como uma espécie de criação própria: ele deseja, portanto, inserir o objeto no contexto de mundo não natural, mas social.

Significa que com o passar do tempo o homem conseguiu gerar uma cultura de fatos reais e irreais que o rodeiam. A inserção de objetos, se produz num meio social, ou seja, suas necessidades e desejos estão influenciadas pelo ambiente social que ele convive. O processo de interação do homem ao meio ambiente gerou o que chamamos de sistema produtivo, que nada mais é do que a grande gama de objetos por ele criado. No momento que o homem iniciou a construção de objetos para produzir outros objetos, originou-se o sistema produtivo.

Manzini (1992) afirma ainda que a característica fundamental deste sistema produtivo, atualmente, é a sua diversificação, entendida como a forma de uma possível convivência das tecnologias mais avançadas com as atividades de origem artesanal.

Conhecer o suficiente sobre o produto a projetar deve ser complementado com os objetivos do projeto, funções a realizar, onde será usado, que tipos de problemas podem aparecer, como evitá-los, qual a sua vida útil, como mantê-lo e como será reciclado.

Rozenfeld (1999) afirma que é um desafio gerenciar as incertezas envolvidas num processo de desenvolvimento de produto, onde as decisões de maior impacto tem que ser tomadas no momento em que existe um maior número de alternativas e um elevado grau de incerteza; soma-se a isto:

- o fato deste processo se basear em um ciclo de projetar, construir e testar, que geram atividades necessariamente iterativas;
- ser uma atividade essencialmente multidisciplinar (criando barreiras culturais sobre a integração);
- a existência de uma grande quantidade de ferramentas, metodologias, soluções, etc... desenvolvidas por profissionais e empresas de diferentes áreas que não interagem entre si;

- a existência de diversas visões parciais sobre o processo de desenvolvimento de produto.

Os engenheiros e projetistas geralmente são conscientes de sua responsabilidade em relação aos produtos por eles projetados e à sua segurança quando utilizados. No entanto existem aqueles que ignoram essa responsabilidade e não usam métodos e técnicas que evitem um produto defeituoso, causando perdas econômicas, de segurança e, muitas vezes de eficácia.

Existe ainda a tendência de profissionais de engenharia pensarem o desenvolvimento de produto como atividade específica de cálculos e testes. Na prática, esta tendência resulta em problemas e ineficiências, pois é necessário um conhecimento mais integrado do processo de desenvolvimento.

Segundo Back (1983), uma forma de classificar os produtos industriais está de acordo com o seu uso, fabricação e tecnologia, ficando evidenciado que não se pode esperar que todos os engenheiros e projetistas tenham a capacidade de projetar qualquer produto industrial. Em consequência, graus de especialização devem existir na prática. A classificação dos tipos de produto leva ao entendimento de suas diferentes características, sendo que cada produto industrial apresenta uma característica funcional essencial que deverá apresentar prioridade sobre os demais aspectos.

A classificação apresentada por Back (1983) leva em conta a magnitude da habilidade tecnológica e de projeto necessária em cada tipo de projeto, conforme apresentada a seguir:

a) Produtos de grande magnitude – são projetos que envolvem a montagem de uma grande quantidade de componentes num sistema maior; neste caso, os projetistas principais deverão ser especialistas em conhecimentos das características funcional principal do produto. Engenheiros, especialistas e projetistas devem ter responsabilidades, principalmente nas áreas de desenho industrial, projeto mecânico e fabricação. Um projeto deste tipo é composto de produtos de alto conteúdo técnico e os demais componentes podem ser classificados nos casos b, c e d do Quadro 1.

Ex.: Desenvolvimento de uma aeronave.

b) Produtos com alto conteúdo tecnológico – são produtos industriais que apresentam um conteúdo tecnológico muito além da competência do projetista do produto. O relacionamento entre os projetistas e o engenheiro responsável pelos itens tecnológicos muda de intensidade conforme os casos:

- produtos com função tecnológica prioritária deverão estar sob a orientação de um engenheiro especialista;
- produtos com funções mecânicas simples, porém com componentes de natureza tecnológica complexa deverão estar sob orientação de engenheiros e projetistas;
- produtos de natureza especializada, com o projetista adquirindo habilidade tecnológica e de projeto neste campo particular.

Ex.: Projeto de máquinas operatrizes (máquinas-ferramenta).

c) Produtos de natureza mecânica simples – são produtos do tipo mecanismos, estruturas e componentes em geral, com pouco conteúdo tecnológico. Os custos de desenvolvimento e o volume de produção vão determinar se o produto estará sob a responsabilidade de um projetista ou será objeto de um estudo mais detalhado envolvendo, neste caso, mais especialistas. Na fase inicial de lançamento de um novo produto a concorrência é pouca, devendo ser produzido em pequena escala para se ter um razoável sucesso comercial; no entanto, se vaza a informação que o produto tem um grande potencial de mercado, logicamente outros fabricantes entrarão na concorrência, com conseqüentes aprimoramentos do produto e aplicação de mais recursos tecnológicos.

Ex.: Conexões.

d) Produtos que exigem predominantemente a habilidade de desenho industrial – são produtos nos quais os fatores humanos e de aparência são predominantes; por exemplo: utensílios domésticos, objetos de uso pessoal e outros, que apresentam a predominância do desenho industrial. A importância do conteúdo tecnológico não é importante, não necessitando que as responsabilidades pelo projeto sejam de engenheiros especialistas ou do projetista.

A classificação dos projetos e produtos industriais apresentada por Back (1983) está conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação de produtos industriais baseada em Back (1983)

Tipo	Profissionais envolvidos no projeto
a. Produtos de grande magnitude	Engenheiro chefe Projetistas principais Especialistas Projetistas Desenhistas industriais
b. Produtos com alto conteúdo tecnológico	Projetista principal Especialistas Projetistas Desenhistas industriais
c. Produtos industriais simples	Projetistas Projetista industrial (provavelmente)
d. Produtos que exigem predominantemente a habilidade de desenho industrial	Desenhista industrial Projetista (provavelmente)

Segundo Pahl & Beitz (1988), são três os tipos de projetos:

- a) Projeto Original – Inovador:** envolve uma solução original para um determinado sistema, não existindo experiência anterior para consulta;
- b) Projeto de Variante – Semelhança:** pode mudar a escala ou a combinação de um sistema, porém a função original não muda;
- c) Projeto Orientado pela Configuração – Adaptativo:** contempla a adaptação de sistemas conhecidos, com a mudança de tarefas para as quais foram projetados, sendo que a solução não muda.

Segundo Ullman (1992), os projetos de produtos podem ser classificados em três grandes grupos, dependendo da origem de seu desenvolvimento: a) desenvolvimento de novos produtos baseados numa nova tecnologia; b) desenvolvimento de novos produtos criados por sistemas integrados e c) desenvolvimento de produtos criados pelo melhoramento de um produto existente.

A seguir descreve-se mais detalhadamente cada tipo de projeto de produto.

a) Desenvolvimento de novos produtos baseados numa nova tecnologia

São produtos totalmente novos e inovadores, criados a partir de uma nova tecnologia; não existe referencial de produto similar.

Um exemplo deste tipo de produto é o caso da primeira máquina de fotocopiar (xerox), cujo conceito dependia totalmente da tecnologia existente na época, como foi o caso do uso da ionização para cópia foto estática.

b) Desenvolvimento de novos produtos criados por sistemas integrados

São produtos novos, sem semelhantes no mercado, mas que se utilizam de tecnologias ou sistemas existentes.

A primeira motocicleta no mundo foi criada pela Honda, no Japão, sendo basicamente uma bicicleta com um motor de cortador de grama adaptado.

c) Desenvolvimento de produtos criados pelo melhoramento de um produto existente

São produtos lançados no mercado e que, constantemente, são sujeitos a melhorias; este tipo de desenvolvimento é o mais freqüente e é quase sempre considerado como um novo produto para o mercado.

Os fabricantes de automóveis, por exemplo, atualizam anualmente seus produtos com pequenas melhorias, até ocorrer o lançamento de um novo modelo.

No entender de Drumond (1995), a diferença entre novos produtos e produtos existentes não é tão óbvia. Tecnológica ou conceitualmente, poucos produtos são completamente novos; a maioria dos considerados novos são apenas marcas novas lançadas no mercado.

Segundo Kume *apud* Drumond (1995), do ponto de vista da empresa, o desenvolvimento de um novo produto, no sentido amplo, pode ser classificado em quatro categorias:

- a) Extensão de linha de produtos existentes: fortalecimento de uma linha de produtos, melhoria da qualidade, redução de custos, etc;
- b) Uso de materiais, tecnologia e equipamentos existentes para desenvolver produtos com novas aplicações;

- c) Desenvolvimento de produtos que utilizam os mesmos canais de venda e distribuição que os produtos existentes.
- d) Desenvolvimento de novos produtos que não têm qualquer conexão com os produtos existentes.

2.2 Descrição do produto em estudo

O objetivo específico desta dissertação, mencionado em 1.3, é o desenvolvimento de um produto (conexão). Inicialmente, é necessário que se faça a identificação do tipo de produto, onde e como é utilizado, quais suas principais características e funções, ou seja, é necessário definir os dados de entrada para o projeto.

O produto-foco deste trabalho é uma conexão destinada a efetuar a ligação de dois ou mais elementos de um circuito hidráulico ou pneumático, para conduzir o fluido. A conexão em estudo é fabricada em aço (SAE 12L14) ou latão (UNS C36000), podendo ter como componentes elementos não-metálicos como nylon, teflon ou borracha nitrílica, auxiliares em funções de vedação.

É um produto processado a partir de matéria-prima em forma de barras redondas, sextavadas ou quadradas e os equipamentos utilizados nos processos são, essencialmente, tornos automáticos. A característica fundamental da conexão é a de conduzir ar comprimido ou óleo hidráulico, ambos sob determinadas pressões de trabalho. As aplicações para ar comprimido ou para óleo hidráulico determinam características tecnológicas e de precisão (material e pressão de trabalho).

Desde épocas remotas, o homem se defrontou com o problema de conduzir fluidos, água principalmente, e utilizou, para tal fim, tubulações de diversos materiais, entre os quais tubos de barro cozido e troncos ocos de árvores, como o bambu.

As ligações de tais tubulações foram resolvidas de maneira rudimentar, por simples encaixe das extremidades desses primitivos encanamentos. Com o decorrer do

tempo e o acesso a técnicas modernas, o homem foi obrigado a procurar sistemas mais eficientes para satisfazer as novas exigências nos encanamentos de fluidos, daí nascendo a obrigatoriedade de conseguir sistemas de conexão cada vez mais práticos e eficientes.

A primeira norma divulgada sobre conexões de que se tem conhecimento é a ***“SAE J512 Automotive Tube Fittings – Carburetor Fittings Division, approved June 1912”*** (SAE HANDBOOK, 1998). Esta norma estabelece um sistema de conexões constituído por um corpo, uma porca e um anel de compressão, para evitar que o tubo escape. Os sistemas em si são considerados como estado da técnica ou da arte, podendo seus componentes ser aperfeiçoados (algo semelhante ao sistema do motor de quatro tempos, utilizado universalmente e de domínio público). A aplicação de maior responsabilidade é em circuitos óleo-dinâmicos de alta segurança e em combustíveis usados em aeronaves.

As conexões atualmente utilizadas em circuitos de freio a ar, que são identificadas como **engate rápido** (Figura 1), são aplicadas em implementos rodoviários, mais especificamente em produtos do tipo semi-reboques. Ele é um sistema bastante utilizado na Europa em circuitos de freio a ar de marcas consagradas como Fiat, Volvo e Scania.

O **engate rápido** é altamente eficiente, não depende de treinamento especializado para montagem na tubulação dos circuitos resiste a vibrações, não necessita reposição de peças em casos de assistência técnica e é utilizado para tubos com diâmetro externo até 16 mm.

Existe no mercado um outro sistema de conexões utilizado em circuitos para equipamentos industriais (para tubos com diâmetro externo até 8 mm) com menor número de componentes e menor custo, que pode ser desenvolvido para aplicação em circuitos de freio a ar. Essa conexão está apresentada na Figura 2. Ambas as conexões são utilizadas com tubos de nylon (poliamidas 11 ou 12).

O desafio do desenvolvimento de uma conexão para ser utilizada em circuitos de freio a ar, identificada como **conexão proposta**, está em atender as condições de *performance* do conjunto montado (tubo + conexões) exigidas pela norma SAE J1131 *Performance Requirements for SAE J844 Nonmetallic Tubing and Fitting Assemblies Used in Automotive Air Brake Systems* (SAE HANDBOOK, 1998), que estabelece condições de resistência à tração, vibração e vazamento e reduzir os custos da conexão para utilização em circuitos de freio a ar.

Além das características essencialmente técnicas impostas pela norma SAE referenciada existe a necessidade de definir os requisitos do projeto, que devem ser incorporados a partir das demandas de qualidade dos clientes. Estas demandas estão baseadas nos conhecimentos e experiências dos clientes em usar este tipo de produto, devendo ser agregadas ao projeto. No capítulo 4, é detalhada a utilização da tecnologia do QFD para a obtenção de informações que irão fornecer os requisitos para o projeto preliminar da **conexão proposta**.

No caso do desenvolvimento da **conexão proposta**, conforme a classificação de Pahl & Beitz (1988), trata-se de um **projeto de variantes**, ou seja, produtos normalizados, permitindo aperfeiçoamentos e melhorias em alguns componentes.

A **conexão proposta** pode ser considerada como um produto novo para o mercado, embora tendo concorrentes similares lançados anteriormente, o produto agrega melhorias para os sistemas onde é utilizado. Segundo Ullman (1992), o produto **conexão proposta** é classificado como **desenvolvimento de produtos criados pela melhoria de um produto existente**.

Novos produtos significam melhorias, características e opções adicionais para o produto, aumentando a família de produtos com a intenção de atrair os clientes existentes. Nesse sentido, a **conexão proposta** será uma opção para o cliente com características diferentes do engate rápido.

Uma consideração a ser feita é que a **conexão proposta**, atualmente utilizada em circuitos industriais, tem condições de uso bastante diferentes dos semi-reboques,

destacando-se as distâncias entre eixos que ocasionam vibrações (devido às condições de estrada).

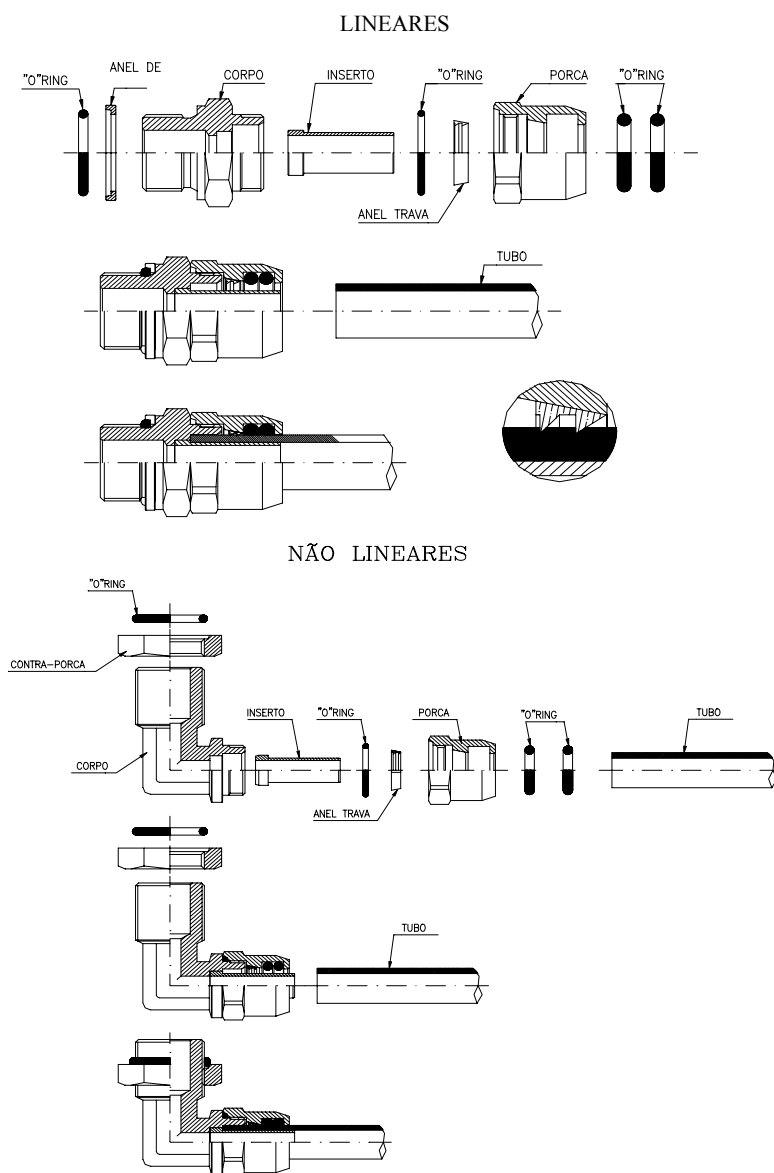
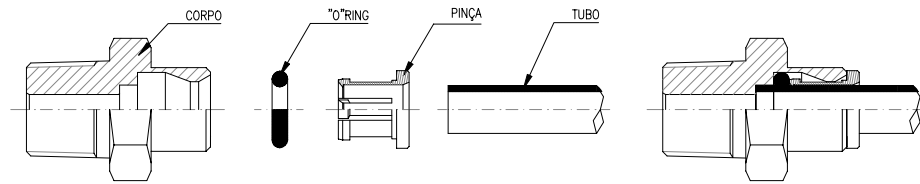


Figura 1 – Conexão engate rápido

LINEARES



NÃO-LINEARES

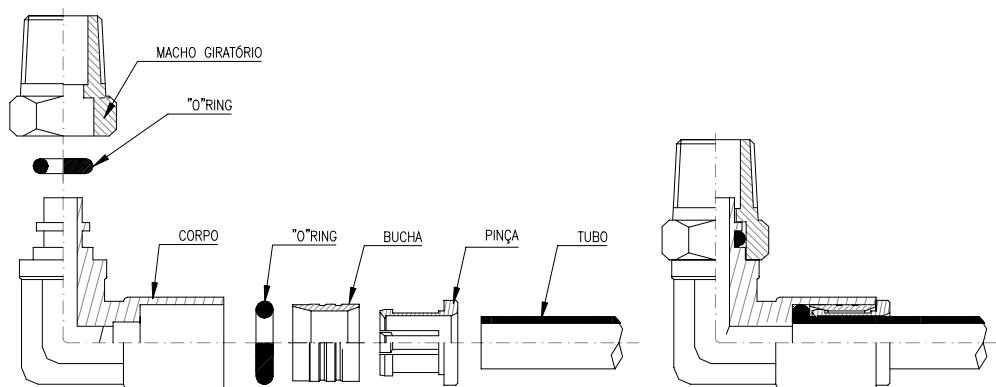


Figura 2 – Conexão utilizada em circuitos industriais

Comparando os dois sistemas pode-se observar que na conexão de **engate rápido** a orientação das conexões não-lineares é feita através de uma contra-porca e se utiliza o inserto para evitar a deformação do tubo. Na conexão utilizada para circuitos industriais a orientação das conexões não-lineares é feita através de um macho giratório e não se utiliza o inserto (devido a pequena dimensão do tubo).

Na conexão de **engate rápido** a vedação é dupla (dois anéis “o” ring montados na porca) e a fixação do tubo no anel trava também é dupla (o anel trava possui dois dentes de fixação); a sequência do sistema é:

- a) primeiro: vedação;
- b) segundo: fixação;
- c) terceiro: apoio do tubo, que pode ser observado na Figura 1.

Na **conexão proposta** a ser desenvolvida, a fixação do tubo na pinça é anterior à vedação, sendo ambas simples, isto é, um anel “o” ring para vedação e um dente na pinça para a fixação; a sequência do sistema é:

- a) primeiro: fixação;
- b) segundo: vedação;
- c) terceiro: apoio do tubo, que pode ser observado na Figura 2.

A retirada do tubo na conexão de **engate rápido** só é possível com a desmontagem da porca. Na **conexão proposta**, pressionando a pinça contra a conexão, a mesma abre-se, permitindo que se desconecte o tubo. No entanto, isto só é possível quando não existir ar no sistema.

O circuito pneumático do freio a ar é de vital importância para o funcionamento do freio, sendo essencial para a segurança nas estradas. Ele é apresentado na Figura 3.

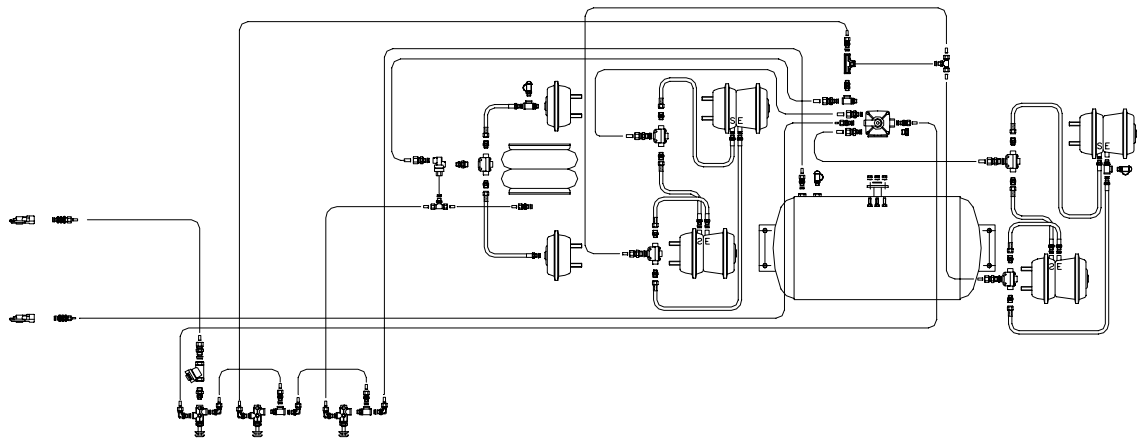


Figura 3 – Circuito pneumático do freio a ar

O conjunto de freio (parte mecânica e pneumática) tem as seguintes funções:

- a) reduzir a velocidade do veículo;
- b) levar um veículo que está em movimento até a parada;
- c) manter o veículo estacionado.

O sistema pneumático de freio é composto por:

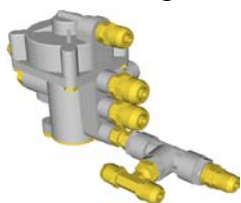
- a) válvulas e conexões – (apresentadas na Figura 4);
- b) tubulações;
- c) flexíveis de freio;
- d) reservatório de ar.

O ar chega ao reservatório proveniente do compressor do veículo-trator, através da linha de suprimento. O sistema fica pressurizado a 10kg/cm^2 . Quando há a necessidade de frear o semi-reboque, o ar proveniente da linha de controle chega a válvula relé emergência - RE que, por sua vez, libera ar do reservatório para as câmaras de freio. A pressão do ar que atingirá as câmaras de freio no momento da freada é igual à pressão que chegou no piloto da válvula RE. Se houver o desacoplamento do veículo trator, automaticamente a válvula RE freiará o semi-reboque.

Para que o semi-reboque tenha seu freio liberado novamente, existe a válvula de escape rápido, que permite a liberação do ar no interior das câmaras de freio, sendo conduzido através dos flexíveis de freio, quando o motorista libera o pedal de freio ou quando o veículo trator é acoplado ao semi-reboque.

No sistema de freio existem válvulas auxiliares que possuem funções distintas. Para movimentar o semi-reboque sem que esteja acoplado, é necessário acionar a válvula de liberação. Já a válvula de bloqueio impede o travamento do primeiro eixo, quando este estiver suspenso.

Válvula Relé Emergência RE



Válvula de Bloqueio



Válvula de Liberação



Válvula de Estacionamento

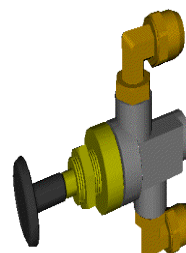


Figura 4 – Conexões e válvulas

A Figura 5 situa a importância das conexões no circuito pneumático do freio a ar.

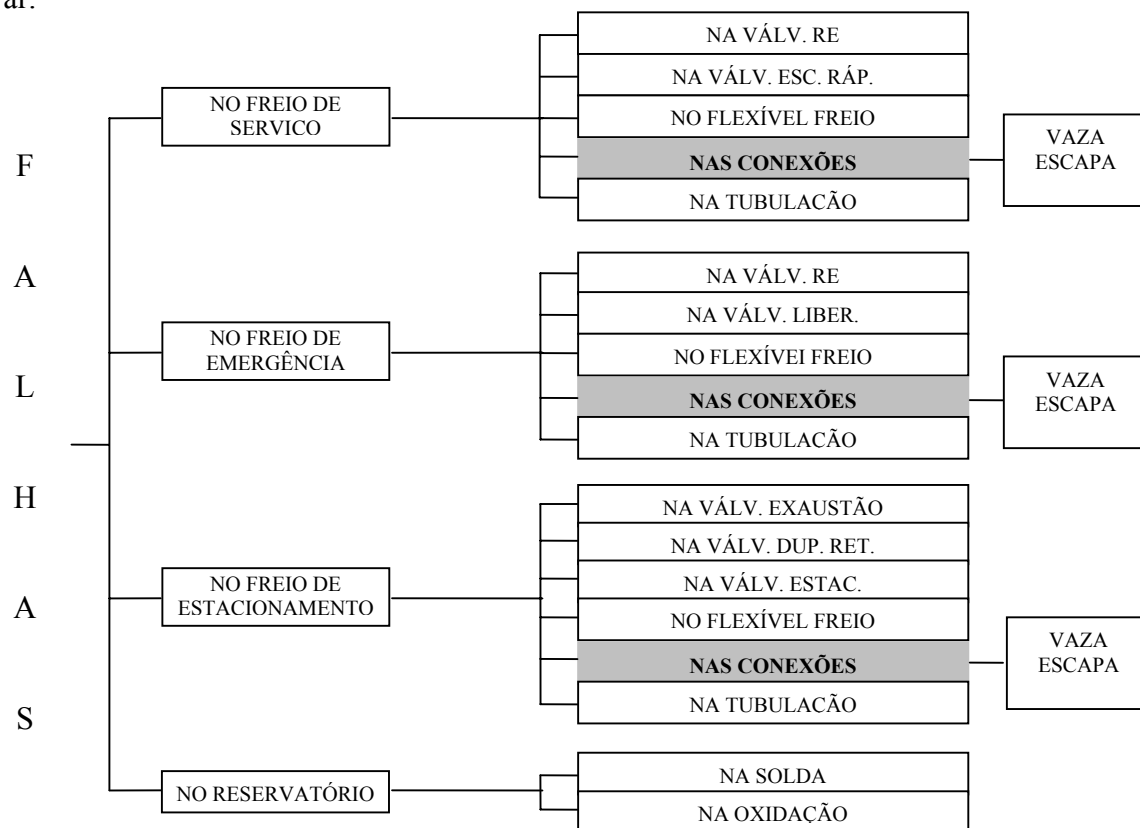


Figura 5 – Importância das conexões do circuito pneumático de freio a ar

2.3 Metodologia de desenvolvimento de projeto de produtos industriais

Dentre as várias abordagens ou visões parciais sobre o desenvolvimento de produto originadas em diferentes áreas de conhecimentos, pode-se citar algumas.

A abordagem proposta por Pugh (1990 e 1996) *apud* Rozenfeld (1999) possui uma forte influência da sua prática em trabalhar durante anos como projetista e gerente de projetos em diversas indústrias. Sua principal preocupação era com a busca de uma visão total da atividade de projeto, ou seja, a superação das visões parciais presentes em cada setor tecnológico específico. Para atingir este objetivo, ele dedicou uma grande ênfase à educação e desenvolveu um modelo, que ficou muito conhecido como *Total Design*. Este modelo possui um conjunto de seis etapas, todas elas iterativas e aplicáveis a qualquer tipo de projeto (independente da magnitude tecnológica envolvida). Cada etapa é representada por um cilindro, significando que nela é empregado um conjunto específico de conhecimentos, compostos por diversas visões tecnológicas parciais.

Outro autor, Don Clausing *apud* Rozenfeld (1999) teve uma forte influência do trabalho de Pugh e Taguchi. Somando conceitos destes dois autores, com os quais conviveu e trabalhou, à sua própria experiência, criou uma abordagem que denominou *Total Quality Development*. Nela há um enfoque muito grande nas técnicas do Desdobramento da Função Qualidade (QFD), Método Taguchi e Matriz de Pugh, e nos conceitos de gerenciamento das equipes de desenvolvimento de produto. Inclusive uma de suas principais contribuições é a de mostrar a integração entre o QFD e o método Taguchi. As fases em que ele divide o processo de desenvolvimento de produto são: Conceito (onde ele foca a metodologia do QFD); *Design* (divide em projeto dos subsistemas e das partes); e preparação/produção (dividido em verificação do sistema e produção piloto);

Uma sofisticada abordagem para a engenharia simultânea é proposta por Prasad *apud* Rozenfeld (1999) que engloba diversos fatores em uma estrutura bastante independente das fases de um processo de desenvolvimento de produto. Ele divide a

engenharia simultânea em duas rodas, denominadas Organização do Produto e Processo (*Product and Process Organization Wheel – PPO*) e Desenvolvimento de Produto Integrado (*Integrated Product Development Wheel – IPD*). Ambas possuem no seu centro a descrição dos quatro elementos de suporte desta metodologia, que são: modelos, métodos, métricas e medidas. As duas rodas possuem também anéis intermediários idênticos, que representam os times ou a estrutura organizacional que dirige as ações dentro do processo de engenharia simultânea. A primeira roda, PPO, aborda os fatores que determinam o grau de complexidade do gerenciamento do desenvolvimento de produto e os fatores organizacionais. A segunda roda, IPD, define, de uma maneira bastante flexível, a integração do processo de desenvolvimento de produto.

Existem várias metodologias usadas em projetos de produtos industriais e os modelos de desenvolvimento de produtos são bastante similares, porém os objetivos, quando colocados em prática, são diferentes; logo, os resultados, também tendem a apresentar diferenças.

Segundo Cunha (1999), o processo de elaboração de uma metodologia de desenvolvimento de produto aplicável a uma dada empresa deve contemplar, especificamente, a situação da instituição quanto a:

- áreas de conhecimento técnico abrangidas;
- segmento de mercado em que atua;
- filosofia de gestão dos negócios.

Segundo Back (1983), o projeto de um componente ou um sistema apresenta, em cada caso, características e peculiaridades próprias. Mas à medida que um projeto é iniciado e desenvolvido, desdobra-se uma seqüência de eventos numa ordem cronológica, formando um modelo, que quase sempre é comum a todos os projetos. Alguns exemplos de metodologia podem ser mencionados, como os de Suh, Asimow e Pahl & Beitz *apud* Dufour (1996). As características destas metodologias são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Metodologias de Suh, Asimow e Pahl & Beitz. Fonte: Dufour (1996)

Autor	Características
SUH	Aborda os requisitos funcionais do projeto e estabelece um modelo axiomático em três etapas: <ul style="list-style-type: none"> - definição do problema; - processo criativo; - processo analítico.
ASIMOW	Estabelece: <ul style="list-style-type: none"> - um conjunto de princípios; - uma estrutura operacional; - um instrumento de crítica.
PAHL & BEITZ	O desenvolvimento inicia com: <ul style="list-style-type: none"> - definição de tarefa; - projeto conceitual; - projeto preliminar; - projeto detalhado.

A metodologia sugerida por Pahl & Beitz *apud* Dufour (1996) será a base para o desenvolvimento do produto-foco deste trabalho. As fases de projeto de produtos industriais são subdivididas em diferentes etapas, sendo necessário que haja a avaliação de cada uma delas antes de se passar para a seguinte. Estas entradas e saídas de dados são resultados de uma retroalimentação, permitindo um avanço no processo até a conclusão do produto final, conforme Quadro 3.

Quadro 3 – Fases e etapas do projeto conforme Pahl & Beitz. Fonte: Dufour (1996).

Fases	Etapas do projeto	
Definição da tarefa	1. Definição da tarefa - Elaboração de especificações 2. Especificações	
Projeto conceitual	1. Identificação dos principais problemas - Estabelecimento de estruturas funcionais - Busca de princípios - solução - Pesquisa de princípios - solução - Avaliação de critérios técnicos e econômicos 2. Concepção	R E T O A L I M E N T A Ç Ã O
Projeto preliminar	1. Desenvolvimento dos primeiros <i>layouts</i> e forma do produto - Selecionar os melhores <i>layouts</i> Refinar e avaliar novamente critérios técnicos e econômicos 2. <i>Layout</i> preliminar 3. Otimização e completção da forma - Verificar erros e custo efetivo - Preparar a listagem preliminar das partes e os documentos de produção 4. <i>Layout</i> definitivo	
Projeto detalhado	1. Últimos detalhes - Desenhos de detalhes e documentos de produção - Verificar todos os documentos 2. Documentação	

A seguir descreve-se cada fase, associando-se a cada uma delas, as características do produto-foco deste trabalho.

2.3.1 Definição da tarefa

A fase da definição da tarefa contempla a coleta do maior número possível de informações, a lista de requisitos obrigatórios e a identificação das restrições. Nesta fase devem ser definidos a função, os dados de entrada e saída e que tipo de perturbações (ruídos) externos ou internos podem influir no produto. São identificados os parâmetros básicos do produto, conforme a exigência do mercado e limites técnicos da engenharia e produção.

Nesta fase é feita uma avaliação dos desenhos existentes em produtos similares. A produção informa quais itens podem ter seus custos amenizados, tempos de montagem, alterações de processos, etc... Em relação aos clientes (consumidores), analisa-se o que pode ser aperfeiçoado no produto atual, custo, montagem mais eficiente, manutenção, número de componentes, resistência a vazamentos, tração, etc...

Uma análise da concorrência fornece dados importantes, principalmente em relação a custos, características fortes e fracas do produto. No caso da conexão a análise da concorrência deve ser realizada de preferência, com produtos europeus. Isto deve-se ao fato de existir na Europa um programa denominado “*Dry Technology*” (tecnologia limpa); para a conexão, significa o aprimoramento da vedação metal x borracha em substituição ao tradicional metal x metal. A vedação metal x borracha garante a estanqueidade com vazamento próximo a zero pela deformação do elemento vedador (pode ser um anel “o”ring) na sede de metal.

2.3.2 Definição do conceito

A definição do conceito é a primeira aproximação para a solução do projeto, baseada nas informações das especificações; experiência e criatividade são importantes nesta etapa. Nesta fase a funcionalidade já é determinada. Erros de conceitualização não terão condições de serem corrigidos nas fases seguintes, devendo as variantes de conceitos serem analisadas, para verificar se satisfazem aos dados de entrada e saída do produto.

No caso da conexão, o cliente irá usá-la para rosquear em outro componente (válvula, bomba, filtro, cilindro, etc...) e conectar um tubo ou mangueira para permitir a passagem do fluido (ar comprimido ou óleo hidráulico). O uso de outros tipos de fluidos é possível, desde que respeitadas as condições de resistência à pressão e o uso de matéria-prima adequada; por exemplo: o aço inox permite o uso de agentes corrosivos tanto internos (circulantes) como externos (ambiente de trabalho).

2.3.3 Projeto preliminar

É recomendada a produção de protótipos, para que possam ser avaliados os pontos fortes e fracos das diferentes alternativas; a opção por uma alternativa provavelmente deve contar com os pontos fortes das alternativas testadas e não escolhidas. Nesta fase a forma já é definida.

O dimensionamento dos componentes são calculados e adequados às necessidades impostas pelas especificações. Para as conexões, são identificados os componentes, espessuras de paredes, roscas, anéis de vedação, bitolas de materiais, etc... Estas definições dependem da pressão de trabalho a que serão submetidas e de outras exigências específicas das normas SAE (*Society of Automotive Engineers*) e DIN (*Deutsche Industrie Normen*). Nesta etapa, é utilizado o CAD – 2D (*Computer – Aided Design*), que auxilia nas montagens de conjuntos e consultas a bancos de dados.

2.3.4 Projeto detalhado

O projeto detalhado contempla o refinamento dos parâmetros de projeto, onde as tolerâncias de operação e de processo, formas, dimensões e propriedades dos componentes são definidas. Os materiais já são especificados, assim como reavaliadas a viabilidade técnica e econômica. Desenhos, instruções de trabalho e demais procedimentos de produção devem ser executados.

O detalhamento das conexões deve obedecer a padrões de montagem e roscas compatíveis com produtos similares, para garantir sua intercambiabilidade (uma condição das normas internacionais). Este detalhamento também deve estar de acordo com os padrões atuais do processo para outros tipos de conexões de uso comum. Na etapa do detalhamento, é mais intenso o uso CAD – 2D (*Computer – Aided Design*), inclusive com banco de dados de DfM (*Design for Manufacture*).

2.4 Metodologia de desenvolvimento adotada na empresa em estudo

No passado a empresa avaliava o produto baseado em informações de clientes ou vendedores. Considerava principalmente o fato de que fabricar o produto num preço mais competitivo que a concorrência, seria uma condição essencial para se produzir. As análises de custos eram bastante superficiais. Não existia nenhuma pesquisa formal que pudesse confirmar as avaliações dos clientes ou vendedores.

Na fase do projeto a priorização de determinados parâmetros era feita na base da experiência. Os testes eram bastante simples, limitando-se no caso específico da conexão em resistência a vazamentos. Os testes de resistência à tração só eram realizados quando os clientes solicitavam. Não existia a preocupação de diferenciar os desenhos de produtos em desenvolvimento com os desenhos de produtos da linha normal de fabricação. Não existia a aprovação formal do projeto e também não eram realizadas instruções de trabalho de modo a orientar o processo produtivo e garantir o projeto.

Quando o produto entrava em processo de fabricação muitos eram os problemas referentes a falta de instruções e comunicação entre engenharia e produção. Alguns produtos quando colocados no mercado, acabavam apresentando erros que poderiam ser resolvidos através da aplicação de metodologias e ferramentas para o desenvolvimento de produto adequadas à realidade da empresa.

Este estudo de caso é o primeiro projeto da empresa que utiliza uma metodologia para desenvolvimento de produto. Os conhecimentos das ferramentas utilizadas no

desenvolvimento de produto foram sendo adquiridos durante o projeto, embora na fase inicial fossem transmitidos conceitos teóricos destas ferramentas.

As escolhas das ferramentas do Desdobramento da Função Qualidade (QFD) e do Projeto de Experimentos (DOE) são específicas para o desenvolvimento desta **conexão proposta**, mas, pretende-se que a utilização do QFD seja a ferramenta básica para o desenvolvimento de projetos novos e projetos de melhorias.

Um outro fator importante é que esta metodologia, devidamente documentada, possa atender ao item 4.4 - Controle de Projeto da ISO 9001 (NBR ISO 9000/94), isto é, possa assegurar o planejamento, interfaces, entrada/saída, análise crítica, verificação e alterações do projeto.

A metodologia proposta pelo autor a ser adotada na empresa para projetos e melhorias de produtos segue a seqüência:

- a) **Levantar Dados de Entrada** - São definidos através de um relatório do departamento de vendas da própria engenharia ou da administração geral da empresa no qual devem constar alguns itens do tipo: consumo previsto, preço objetivo e informações adicionais, inclusive amostras (quando houver).
- b) **Analisar Dados de Entrada** - Com base nos dados de entrada, a engenharia procede uma análise preliminar dos aspectos das características técnicas, materiais necessários e das condições do processo produtivo, que precisam estar de acordo com a condição atual de produção da empresa; esses são os critérios de viabilidade para iniciar o desenvolvimento do projeto. A análise é documentada em relatório do projeto.
- c) **Desenvolver Projeto Preliminar** - A engenharia desenvolve o projeto preliminar considerando os requisitos do cliente, características técnicas, análise dimensional, tipos de materiais e adequações ao processo de fabricação (equipamentos disponíveis). Nesta fase, sugere-se o uso do QFD como ferramenta de apoio para incorporação no projeto preliminar dos itens mencionados acima (detalhado no capítulo 4).

- d) Desenvolver e Verificar o Projeto** – A engenharia desenvolve o projeto definitivo onde é necessário definir as especificações finais para as características das partes. O projeto de experimentos é uma ferramenta que pode ser usada nesta fase. Executam-se amostras ou protótipos a partir dos desenhos e verifica-se o efeito da alteração das características das partes sobre as características da qualidade. Na verificação do projeto, quando necessário, podem ser executados testes de confiabilidade, ou outros testes e ensaios, inclusive fazendo referência a produtos similares e com base em experiências ou conhecimentos do estado da técnica. Nesta fase, além dos desenhos, as demais informações são registradas no relatório do projeto (no capítulo 5 é detalhado o projeto de experimentos).
- e) Definir Processos de Fabricação e Análise Crítica** - A Engenharia, a Produção e o Planejamento e Controle da Produção (PCP) definem o processo de fabricação e a sequência de operações. Os custos preliminares são calculados. Com estes já calculados, é efetuada a análise crítica do projeto. Se necessário, alterações referentes a materiais ou processos de fabricação podem ser efetuadas. A análise crítica é registrada no relatório do projeto. Nesta fase o uso do projeto de experimentos pode auxiliar na definição dos ajustes ótimos dos parâmetros do processo que maximizam as variáveis de resposta.
- f) Fabricar Lote-Piloto** - Nesta fase fabrica-se o lote piloto do produto. Toda a alteração que se fizer necessária, decorrente do processo de fabricação, é anotada nos desenhos. Qualquer alteração que implique em modificação do projeto é avaliada pela engenharia, que poderá decidir pela realização de novos testes e ensaios. Neste caso, as alterações são registradas no relatório do projeto (detalhado no capítulo 6).
- g) Validar Produto e Liberar para a Produção** - Uma vez confirmados os dados de entrada na fabricação do lote piloto, o produto é validado, por exemplo, através de uma análise de árvore de falhas (FTA) que estima a probabilidade de falha do produto a partir da probabilidade de falha dos

componentes. A validação do projeto é registrada no relatório de projeto, se a probabilidade de falha estiver em níveis aceitáveis, libera-se para a produção. A liberação para a produção é confirmada pela emissão de desenhos definitivos. Documentos necessários para o processo, equipamentos e dispositivos, inspeções e ensaios, instruções de trabalho e outros que se fizerem necessários são providenciados nesta fase (detalhado no capítulo 6).

Como o desenvolvimento do produto (conexão) é realizado a partir da adaptação de um produto existente, as etapas iniciais da metodologia de desenvolvimento de produto adotada pela empresa, ou seja, levantamento e análise dos dados de entrada, não serão abordadas neste trabalho. A empresa já fabrica a conexão utilizada para circuitos industriais com diâmetro externo até 8 mm que é similar a **conexão proposta**.

Na sequência serão enfatizadas as etapas de engenharia simultânea (capítulo 3), desenvolvimento do projeto preliminar (capítulo 4), desenvolvimento e verificação do projeto (capítulo 5), definição do processo de fabricação e análise crítica, fabricação do lote piloto, validação do produto e liberação para a produção (capítulo 6).

As etapas apresentadas acima estão resumidas em um fluxograma apresentado na Figura 6.

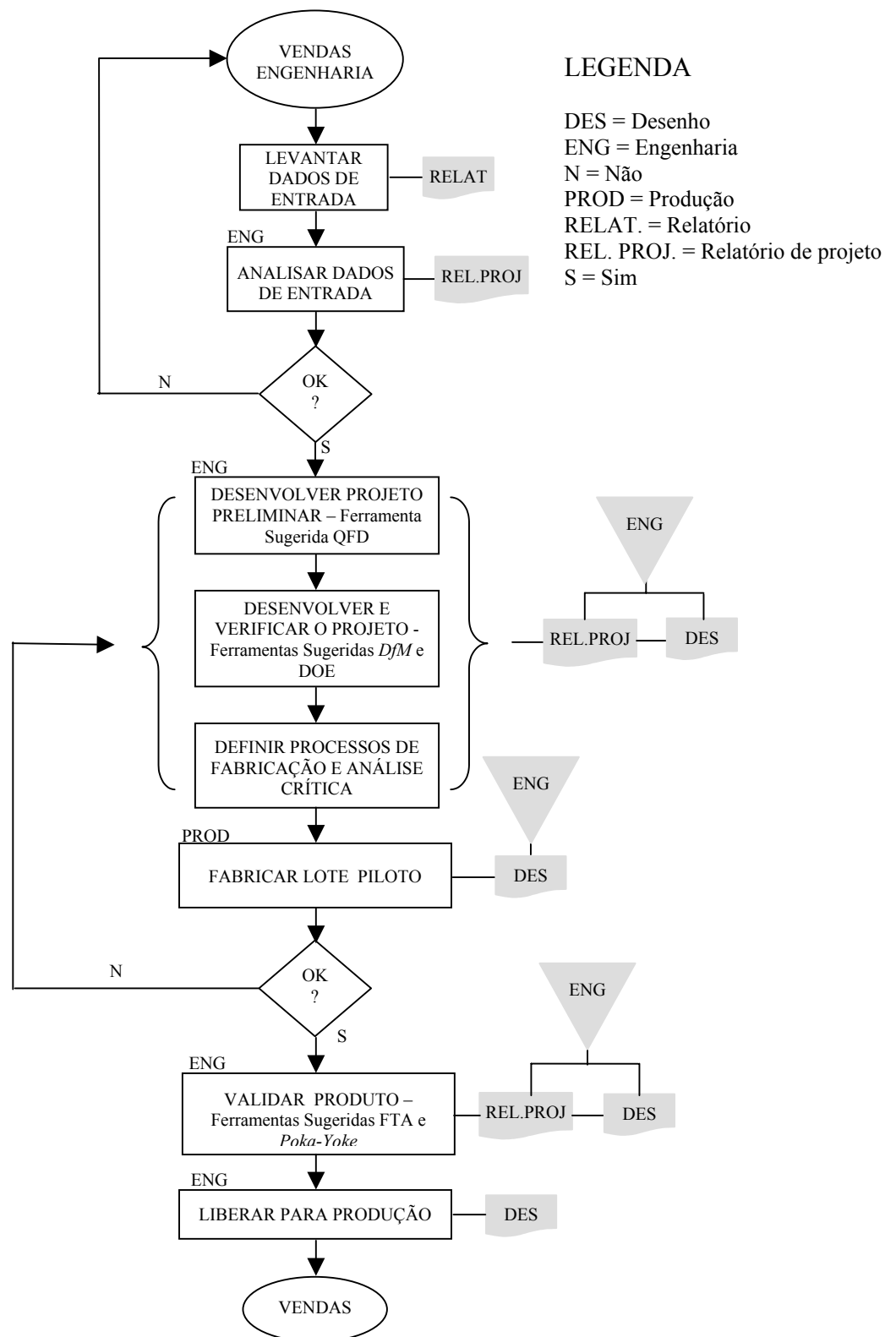


Figura 6 – Fluxograma da metodologia de desenvolvimento de produto adotada pela empresa no estudo de caso.

3 ENGENHARIA SIMULTÂNEA

Primeiramente, antes da aplicação da metodologia de desenvolvimento de produto é necessário conscientizar a empresa a respeito da metodologia de engenharia simultânea. Este capítulo refere-se à engenharia simultânea; no item 3.1, aborda-se o conceito; no sub-item 3.1.1 trata-se da força-tarefa; no item 3.2 aborda-se as características da empresa em estudo; no sub-item 3.2.1 as ferramentas de apoio e no sub-item 3.2.2 planejamento de tecnologia para o DfM .

3.1 Conceito de ES

No entender de Cunha (1999), as empresas industriais, neste final de século, devem ter seus sistemas produtivos baseados em três elementos fundamentais: integração (de atividades e sistemas), qualidade e flexibilidade.

A qualidade é avaliada sob o ponto de vista do produto e da produção. O produto é medido pelo grau de satisfação do cliente usuário; a produção está ligada a custos, ou seja, produzir a custos menores com menos perdas.

A flexibilidade relaciona-se com o perfil dos produtos oferecidos no mercado e do sistema produtivo, ou seja, uma grande variedade de produtos pressupõe que a produção (fabricação) seja ágil em administrar seus processos, a fim de atender os requisitos acordados nos prazos de entrega.

A integração está subdividida em dois aspectos: entre homens e máquinas e entre os diferentes departamentos e setores da empresa. Isto significa um grande fluxo de informações na empresa, de maneira organizada, para que se tornem um *feedback* importante na tomada de decisões (Cunha, 1999).

O termo *Concurrent Engineering* ou Engenharia Simultânea (ES) foi introduzido no final dos anos 80 e representa o desenvolvimento de técnicas de associações de gestão da produção, fabricação e desenvolvimento de produto. O objetivo central é a redução dos custos de desenvolvimento de produto. A maior motivação para aplicação da ES é diminuir o tempo de lançamento de um novo produto no mercado (Cunha, 1999).

O desenvolvimento de produtos nos processos tradicionais impõem dificuldades referentes a prazos de lançamento para o mercado, refletindo em custos, documentação dos projetos e excessiva interdependência dos demais departamentos. Em consequência, estudos mais detalhados do desenvolvimento de produto são abandonados, bem como considerações sobre a produção. Para otimizar este desenvolvimento, devem ser consideradas as diferentes abordagens de ES proposta por diferentes autores.

Segundo Fonseca *et al* (1997), engenharia simultânea é um processo de desenvolvimento de um projeto viável, adequado e eficaz num intervalo de tempo considerado ótimo, através do esforço coletivo de várias unidades interfuncionais relacionadas entre si numa organização. Baseia-se no princípio de que o desenvolvimento, projeto, fabricação e comercialização de um produto devem ser executados o mais simultaneamente possível, com o objetivo de reduzir os tempos de ciclo, refugos, retrabalhos e erros.

No entender de Ashley *apud* Rozenfeld (1999), engenharia simultânea é uma abordagem sistemática para o desenvolvimento integrado de produtos, que enfatiza o atendimento às expectativas dos clientes. Inclui valores de trabalho em equipe, tais como cooperação, confiança e compartilhamento, de forma que as decisões sejam tomadas, no início do processo, em grandes intervalos de trabalho paralelo, incluindo todas as perspectivas do ciclo de vida, sincronizadas com pequenas modificações para produzir consenso.

Hartley (1998) afirma que a engenharia simultânea é uma metodologia de desenvolvimento de produtos, na qual vários requisitos (X-abilities) são considerados parte do processo de desenvolvimento de produtos (manufatura, serviço e qualidade, entre outros). Esses requisitos servem não só para atingir as funcionalidades básicas do produto, mas para definir um produto que atenda a todas as necessidades dos clientes.

Segundo Yamazoe *apud* Slack *et al* (1996), engenharia simultânea significa que as pessoas que projetam ou fabricam produtos trabalham com os mesmos objetivos e o mesmo senso de valores, para atacar os mesmos problemas entusiasticamente, desde as primeiras fases. Os objetivos são: redução do tempo de desenvolvimento, projeto para a manufatura, desenvolvimento de produto e de tecnologias avançadas de produção. A medida comum de valor é a satisfação dos clientes, que é uma das filosofias corporativas da empresa.

Segundo *Institute for Defense Analysis*, IDA (1986), engenharia simultânea é um esforço sistemático para um projeto integrado e simultâneo do produto e de seu correspondente processo de fabricação. Pretende que os projetistas, desde o princípio, tenham em conta todos os elementos do ciclo de vida do produto, desde o projeto conceitual até sua disponibilidade, incluindo qualidade, custo e necessidades dos usuários.

Pode-se concluir que é necessário um trabalho coordenado e simultâneo dos diversos departamentos da empresa: vendas, engenharia, produção, processo, qualidade e custos. Substitui o clássico conceito de trabalho de desenvolvimento e fabricação do produto, baseado em um diagrama seqüencial de atuação dos distintos

departamentos, por um trabalho simultâneo, em equipe, de todos, a partir do momento em que se inicia o processo.

No entender de Hartley (1998) a engenharia simultânea se presta a uma introdução gradual sendo útil tanto nos pequenos quanto nos grandes projetos. Isto significa que é possível a aplicação em pequenas, médias e grandes empresas. Nas pequenas e médias empresas, a expectativa é de que os elementos da engenharia simultânea sejam usados isoladamente, devido ao fato do pessoal da força-tarefa terem mais de uma responsabilidade.

Segundo Schneider *apud* TecHoje (1999), apesar das promessas de vantagens competitivas da engenharia simultânea serem grandes e estimulantes, obtê-las na prática não é uma tarefa trivial. Iniciativas precipitadas, isoladas ou descoordenadas, como simplesmente convocar o pessoal de diversas áreas funcionais para discutir o projeto em torno de uma mesa ou fazer uso dos sistemas Engenharia Assistida por Computador (CAE), Projeto Assistido por Computador (CAD) e Fabricação Assistida por Computador (CAM), por exemplo, não habilitam a empresa quanto ao princípio da engenharia simultânea.

Não existe uma metodologia que seja padrão para a implantação da engenharia simultânea. As pequenas e médias empresas, tradicionalmente, possuem equipes multidisciplinares ou força-tarefa, porém desconhecem a aplicação das tecnologias de apoio. Na realidade, os desenvolvimentos ou melhorias em produtos são dependentes da experiência e do conhecimento do processo pelos responsáveis destas áreas.

Para potencializar o uso da engenharia simultânea é necessário:

- difundir a necessidade de criação da força-tarefa, assumindo responsabilidades e tendo poder de decisão;
- definir quais ferramentas devem ser usadas, de acordo com o produto ou melhoria a serem desenvolvidos;
- desenvolver uma base de dados dos produtos como desenhos, testes, fabricação, qualidade, para permitir a comunicação entre os diversos setores da empresa.

3.1.1 Força-tarefa

Após a segunda guerra mundial, uma nova modalidade de gestão de projetos foi introduzida nas empresas americanas, com o aproveitamento dos ex-militares. O objetivo era o uso de uma força-tarefa caracterizada por uma auto organização específica para o projeto. Devido à característica comportamental dos militares, a força-tarefa apresentava, pelo menos, dois pontos críticos: a duplicidade de tarefas (com outros grupos de força-tarefa de projetos paralelos) e a ociosidade, devido a utilização de recursos não ser constante durante o tempo de execução do projeto. Como não havia a pressão do fator tempo, a força-tarefa não evoluiu e cedeu espaço para a organização dos projetos tradicionais ou seqüências (Casarotto *et al* 1999). O conceito de força-tarefa, no entanto, a partir da década de 80, caracterizada pela necessidade de mudança rápida, se tornou uma realidade.

Segundo Stalk e Hout *apud* Casarotto *et al* (1999), uma companhia com ciclo rápido de desenvolvimento de novos produtos junta todos os recursos de desenvolvimento do produto em um grupo – incluindo marketing, projeto, fabricação e, em alguns casos, finanças e vendas. Os participantes dessas áreas funcionais trabalham conjuntamente em tempo integral. Com frequência, encontram-se fisicamente trabalhando no local onde o novo produto será fabricado, e o programa de desenvolvimento se movimenta rapidamente através de cada atividade funcional.

Também são destacadas as características entre os inovadores lentos e rápidos. Os lentos têm duas características acentuadas: falta de integração das funções de apoio e muito tempo gasto em reuniões para integração. Os rápidos se destacam por ter comunicação instantânea, solução imediata dos problemas, sem programação de reuniões, e conseqüente *feedback* mais rápido.

A força-tarefa ou equipe multidisciplinar tem por finalidade permitir que as atividades de desenvolvimento de produto sejam realizadas em paralelo por pessoas com diferentes especializações. Além de participar do planejamento e do controle de projeto, executa tarefas de planejamento e controle da produção, processos, vendas,

custos e finanças. Tem muito a ver com a cultura da empresa, isto é, das atitudes, crenças e comportamentos das pessoas envolvidas.

Segundo Hartley (1998) a força-tarefa normalmente conta com a participação de:

- engenharia de projeto de produto;
- engenharia de fabricação;
- *marketing*;
- compras;
- finanças;
- principais fornecedores de equipamentos de fabricação e de componentes.

A qualificação de uma força-tarefa está relacionada com os produtos e os mercados nos quais a empresa participa. No caso do produto-foco (conexão) deste trabalho, trata-se de um novo produto para um mercado existente.

3.2 Características da empresa em estudo

Nome: Sociedade Mercantil de Máquinas e Materiais Ltda.

Nome Fantasia: Conexões Merkantil

Endereço: Arno da Silva Feijó, 2245 Distr. Industrial – Alvorada.

Histórico: Empresa familiar fundada em 1967 em Porto Alegre como revenda de peças para os setores de transporte e máquinas rodoviárias, passando em 1974 a fabricá-las. Em 1978 mudou-se para Alvorada, com uma área construída de 1.700 m². Em 10 anos, duplicou sua área construída. Atualmente, possui 160 funcionários, distribuídos entre os turnos diurno e noturno, sendo considerada uma empresa de médio porte.

Instalações: Terreno próprio com 20.000 m², com área construída de 3.400 m², tendo o pavilhão principal 2.300 m² e um pavilhão secundário de 500 m².

Refeitório e cozinha com 180 m², vestiário com 120 m², casa do caseiro com 100 m², estação de tratamento de efluentes com 35 m² e subestação de energia elétrica com 15 m².

Equipamentos: Tornos automáticos monofusos, máquinas transfer, rosqueadeiras, prensas para forja, fornos elétricos e tratamento superficial (zincagem).

Produtos: A Conexões Merkantil produz conexões de aço carbono e latão para fabricantes de implementos rodoviários, agrícolas e de máquinas operatrizes, para instalações óleo-dinâmicas e pneumáticas. Ao todo, a empresa produz aproximadamente 800.000 peças / mês, entre 6.000 diferentes modelos, os quais são separados por grupos.

Linhas de produto. Aplicação.

- Conexões para freio a ar. Instalação para freio a ar de carretas;
- Conexões para ar comprimido. Instalação para circuitos pneumáticos de ônibus;
- Conexões e terminais para mangueiras hidráulicas;
- Conexões com anel de penetração para circuitos óleo-dinâmicos para máquinas e implementos agrícolas e máquinas operatrizes em geral.

Fornece para clientes institucionais do tipo de fabricantes de máquinas e implementos agrícolas, equipamentos rodoviários e montadoras de máquinas em geral.

Para o estudo de caso, cujo produto está abordado no item 2.2, a constituição de uma força-tarefa está baseada nas características atuais da empresa, ou seja, existem pessoas com funções multidisciplinares, principalmente nos departamentos de engenharia e produção. Na empresa em estudo, as decisões sobre volume de vendas, preço, variedade de produtos, qualidade e prazo de entrega fazem parte do cotidiano dos departamentos de engenharia, produção e processo, planejamento e controle da produção, controle de qualidade, custos (finanças) e departamento de vendas.

Os relacionamentos entre volume de vendas e compatibilidade com a produção instalada; preço de vendas e tamanho dos lotes; grande variedade de produtos e flexibilidade da produção também são debatidos com naturalidade, existindo uma cumplicidade entre os departamentos afins. O organograma atual da empresa na área industrial tem a seguinte configuração, conforme Figura 7.

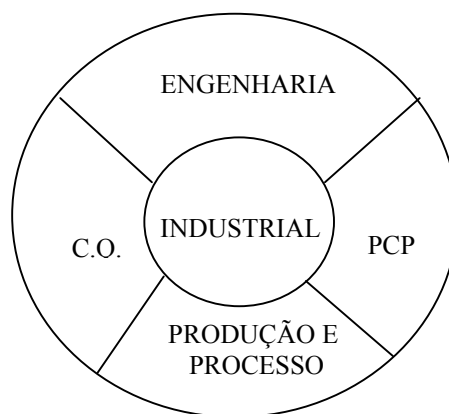


Figura 7 – Organograma atual da empresa na área industrial

As áreas de atuação e responsabilidade dos setores são basicamente:

Engenharia: responsável pelo desenvolvimento de novos produtos, melhorias dos atuais, apoio à produção e processos para projetos de dispositivos e ferramentas especiais, *layout*, instruções de trabalho e acompanhamento junto à produção e processo de novos produtos; é responsável, também, pela codificação e arquivo de desenhos e utiliza a ferramenta CAD – 14 (2D).

Produção e Processos: responsável pelas modificações e implantação, em equipamentos, de dispositivos para melhorias do processo em qualidade e produtividade; é responsável também pelo acompanhamento do sistema produtivo em geral.

PCP – Planejamento e Controle da Produção: responsável pela análise dos tempos de ocupação de máquinas, disponibilidade, contato com o departamento de

vendas, informando situações dos pedidos, previsões de entrega e plano mestre de produção.

CQ – Controle da Qualidade: responsável pela liberação das máquinas após a montagem, para iniciar a produção através de medição inicial e monitoramento durante o processo, podendo interferir no mesmo.

Para configurar a força-tarefa pretendida para o desenvolvimento de produto é necessário que haja um representante de vendas, agregando conhecimentos de sua área ao grupo.

É importante, na constituição da força-tarefa, alguém que tenha o poder de decisão, e que preferencialmente seja da direção da empresa, além de ser um facilitador e gerenciador de conflitos. No caso da empresa em estudo essa pessoa é o diretor industrial. Na empresa, o pessoal envolvido com projeto, processo, planejamento da produção e controle de qualidade já atua em conjunto caracterizando uma equipe multidisciplinar ou força-tarefa.

O fato de criar uma força-tarefa não é uma novidade para as pequenas e médias empresas, porém se destaca a necessidade de definir como será sua atuação no caso de desenvolvimento de novos produtos ou até mesmo melhorias nos já existentes. É importante, também, que a força-tarefa seja difundida na empresa, destacando sua área de atuação e suas responsabilidades. A força-tarefa para o estudo de caso deste trabalho está constituída conforme o organograma da Figura 8.



Figura 8 – Organograma para a força-tarefa

3.2.1 Ferramentas de apoio

A engenharia simultânea como metodologia de trabalho utiliza uma grande variedade de ferramentas de organização, comunicação, especificação e desenvolvimento de produto.

Com relação ao desenvolvimento de produto existem diversas tecnologias ou ferramentas de apoio, que podem ser aplicadas para conseguir os objetivos de funcionalidade, produtividade, qualidade e custos.

Na empresa em estudo, a meta é a criação de equipes multidisciplinares ou força-tarefa abordada em 3.1.1, com a utilização de técnicas e métodos de motivação para a conscientização do trabalho em equipe, do consenso em tomada de decisões, da delegação de responsabilidades, da planificação de projetos e da necessidade de comunicação em uma linguagem comum, diferente da linguagem técnica especializada de cada participante.

Na comunicação, o importante é a disponibilidade da mesma informação para os componentes da força-tarefa através de uma base de dados do produto de fácil acesso. Os sistemas de *software* Projeto Assistido por Computador (CAD), Engenharia Assistida por Computador (CAE) e Fabricação Assistida por Computador (CAM) são considerados uma boa base de dados. Isto significa uma mudança nas estruturas hierárquicas tradicionais com muitos níveis de desenvolvimento seqüencial, resultando em linhas horizontais de comunicação e decisão.

As especificações, são o conjunto de atributos que deve ter um produto para satisfazer às necessidades e preferências dos clientes. A ferramenta mais conhecida para transformar a voz do cliente, seus desejos em um conjunto de especificações técnicas destinadas a satisfazê-los é o Desdobramento da Função Qualidade (QFD). O QFD é uma ferramenta que, em forma matricial, nos permite relacionar o QUE pedem os clientes com o COMO atingir a estas demandas e em QUANTO vamos satisfazer. É aplicada em cascata e permite determinar as possíveis carências do produto que devem

ser melhoradas. Este item é detalhado no capítulo 4, como ferramenta de apoio para o estudo de caso do produto-alvo (conexão) desta dissertação.

A partir das especificações de produto para a busca de soluções, se utiliza: métodos convencionais (bibliografia, patentes, produtos similares, análise de sistemas materiais, etc...); métodos intuitivos (*Brainstorming*, Delphi ...) e métodos dedutivos (estudos de processos físicos).

O *Brainstorming* é uma técnica baseada no princípio da associação, e tem como objetivo básico estimular um grupo de pessoas e detectar problemas ou produzir idéias e soluções para questões existentes, de maneira rápida e direta (Fonseca *et al*, 1997).

O *Delphi* é uma técnica de projeto para gerar consenso, dentro de um grupo de peritos, sobre eventos e tendências futuras que não podem ser projetadas pelas técnicas exploratórias comumente utilizadas (Cunha, 1999).

O Projeto Assistido por Computador (CAD) tem sua função principal na materialização do projeto para análise e simulação das diferentes alternativas.

Na fase de padronização, a tecnologia de grupos é importante na escolha de componentes e nos processos de fabricação (famílias de componentes e de máquinas). É um conceito que define a solução de problemas, explorando semelhanças para se obter vantagens operacionais e econômicas mediante um tratamento de grupo. Sob o aspecto do projeto, um sistema de codificação que leve em conta as características descritivas e funcionais, afim de que a combinação destas ajude na estruturação de um banco de dados (Lorini/1993).

O projeto de experimentos (PE) é uma ferramenta importante para assegurar a qualidade; é uma tecnologia utilizada para a condução de um programa de experimentação. É baseada na observação e análise das variáveis envolvidas e suas influências sobre os resultados esperados (detalhado no capítulo 5).

O método de Taguchi define a robustez do projeto, isto é, a capacidade do produto resistir às perturbações (impostas pelas condições de fabricação) sem apresentar desvios de desempenho e funcionalidade (Toledo *et al*, 1999).

Os testes de confiabilidade determinam a probabilidade de que o produto funcione conforme especificado, por um período determinado de tempo e sob condições operacionais preestabelecidas; também é uma tecnologia de apoio para garantir a qualidade (Ribeiro & Fogliatto, 1999).

Segundo Slack *et al* (1996), no projeto e processo para análise sistemática de falhas potenciais de um sistema é utilizada a ferramenta de Análise dos Modos e Efeitos de Falhas (FMEA), cuja finalidade é identificar as características do produto que são críticas para vários tipos de falhas. É um meio de identificar falhas antes que aconteçam, através de um procedimento de listas de verificação, que é construído em torno de três perguntas-chave para cada causa possível de falha:

- a) qual é a probabilidade da falha ocorrer?
- b) qual seria a conseqüência da falha?
- c) qual a probabilidade desta falha ser detectada antes que afete o cliente?

Os DfX (Projeto orientado à ...) tem aplicações em:

DfF – Projeto orientado à função;

DfM – Projeto orientado à manufatura;

DfA – Projeto orientado à montagem;

DfMT – Projeto orientado à manutenção.

O DfM é abordado no sub-item 3.2.1.1.

3.2.1.1 Projeto orientado à manufatura (DfM)

Segundo Boothroyd e Dewhurst *apud* Rozenfeld (1999), *Design for Manufacture* (DfM), busca durante o projeto, tornar mais fácil a manufatura dos componentes que formarão o produto depois de montado.

Podemos afirmar que o DfM é uma filosofia que se utiliza de diversos conceitos, técnicas, ferramentas e métodos para aperfeiçoar a fabricação de componentes utilizando, para tal, desde a análise de valores de tolerâncias até a complexidade do produto (Horta *et al*, 1999).

Segundo Cunha (1999), DfM é composto por um conjunto de diretrizes e regras orientadas a trazer para a área do projeto de produto todas as considerações e preocupações relacionadas com a sua fabricação. Os objetivos centrais do DfM englobam a compreensão dos processos de fabricação, a concepção do produto orientado para o mercado, o entendimento entre as áreas de projeto, os processos de produção e a possibilidade de se obter projetos tolerantes a falhas.

A aplicação do DfM viabiliza algumas idéias do tipo:

- a) busca contínua da otimização do produto e dos processos de fabricação;
- b) padronização dos componentes;
- c) modularização, quando for possível;
- d) simplificação do produto e dos métodos de produção.

Na fase do projeto, especificamente de componentes mecânicos, o DfM auxilia nos seguintes aspectos de configuração:

- a) tipo e forma de materiais (disponibilidade do mercado);
- b) tolerâncias dimensionais (referentes aos processos);
- c) tolerâncias geométricas (referentes a montagens);
- d) evitar operações secundárias (2ª e 3ª operações);
- e) características físicas dos componentes (tipo de ferramenta x matéria-prima).

As conexões têm uma característica muito particular, que é a de intercambiabilidade, embora a maneira de fixar os tubos de aço, plástico e mangueiras possam ser diferentes; seus alojamentos devem ser padronizados, obedecendo padrões internacionais de normalização. Isto permite que, todas as características possam ser agrupadas em um banco de dados relativo a roscas, diâmetros de alojamento, profundidades, diâmetros de tubos, mangueiras, especificações dimensionais de

tolerâncias de anéis “o” ring e outros elementos importantes para facilitar a manufatura e não complicar detalhes do processo. O banco de dados auxilia a:

- a) projetar para um número mínimo de partes;
- b) desenvolver projetos modulares, diminuindo variações de componentes;
- c) projetar componentes que tenham mais de uma função;
- d) projetar componentes adequados aos processos existentes, eliminando ajustes na montagem;
- e) salientar a padronização.

Alguns itens já estão em banco de dados da empresa em estudo, mas não o suficiente para se ganhar tempo nos projetos.

O banco de dados das conexões podem contemplar:

- a) padrões de roscas com tolerâncias já especificadas por normas;
- b) diâmetros de alojamento para tubos conforme especificações de norma;
- c) diâmetros de alojamento para anéis “o” ring utilizados;
- d) larguras dos canais de alojamento para os anéis “o” ring utilizados;
- e) profundidades de roscas internas conforme os sistemas de vedação, roscas paralelas ou cônicas.

A elaboração do banco de dados não é uma simples tarefa de transcrever as normas; deve ter a participação, principalmente, do pessoal de processos, produção e controle da qualidade, para a adequação ao processo existente e, se possível, o estreitamento das tolerâncias para melhorar a qualidade do produto final.

No capítulo 4 é abordado o projeto preliminar para a **conexão proposta**.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO PRELIMINAR

Neste capítulo, é apresentado o desenvolvimento do projeto preliminar utilizando o QFD como ferramenta de apoio, para assegurar que a qualidade demandada pelos clientes seja garantida durante as fases do processo de desenvolvimento do produto e na produção. O item 4.1 trata do conceito do QFD e definições; os sub-itens 4.1.1, 4.1.1.2, 4.1.3 e 4.1.4 apresentam diferentes abordagens do QFD; o item 4.2 apresenta a abordagem utilizada neste estudo de caso; o sub-item 4.2.1 refere-se à pesquisa de mercado; os sub-itens 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4, 4.2.5 e 4.2.6 referem-se respectivamente às matrizes da qualidade, das partes, dos processos, das características das partes e dos parâmetros do processo; o sub-item 4.2.7 aborda o projeto preliminar e o sub-item 4.2.8 refere-se ao planejamento da qualidade.

4.1 Conceitos de QFD

Segundo Cheng *et al* (1995), a origem do QFD está no Japão, motivada pelo grande crescimento das indústrias japonesas, principalmente a automobilística. Foram implementadas as atividades de garantia da qualidade, desde o projeto, devido às constantes mudanças nos modelos de automóveis. O controle estatístico do processo (CEP) começou a ser considerado na gestão da qualidade total, entre 1960 e 1965.

Nesta época, iniciou-se a consolidação do conceito de Garantia da Qualidade no Japão, abrangendo todos os processos: identificação do mercado, projeto, processos, aquisição, fabricação, inspeção e vendas. Nesta fase, começou a ser introduzido o conceito de Confiabilidade e, em 1966, foram iniciadas as primeiras tentativas de Desdobramento da Qualidade, focando a definição da qualidade no projeto. Neste ano, foram realizadas pesquisas com base no Desdobramento da Qualidade em empresas japonesas, divulgadas em 1972. Os resultados indicavam deficiências quanto ao método e ao conceito de como estabelecer a qualidade do projeto.

Em 1972, foi divulgada a matriz da qualidade utilizada pelo Estaleiro Kobe (Japão), estabelecendo o método e o conceito da qualidade no projeto. Com a publicação do primeiro livro sobre o QFD, de autoria de Mizuno e Akao, em 1978, os processos de desenvolvimento de novos produtos e as atividades que garantem a qualidade passaram a ser praticadas na origem do processo (Cheng et al, 1995).

No Japão, o QFD (a denominação é *Hinshitsu Kino Tenkai*) é subdividido em Desdobramento da Qualidade e Desdobramento da Função. Segundo Cheng *et al* (1995), o método QFD objetiva duas finalidades específicas:

- auxiliar o processo de desenvolvimento do produto, buscando, traduzindo e transmitindo as necessidades e desejos dos clientes;
- garantir qualidade durante o processo de desenvolvimento do produto.

O Desdobramento da Qualidade refere-se às cartas, tabelas e matrizes descritivas, que são utilizadas na projeção da qualidade demandada. O Desdobramento da Função é relacionado com a “voz do engenheiro”, identificando a função básica atribuída ao produto, que normalmente não é compreensível pelo cliente.

A seguir apresenta-se algumas definições de QFD:

Eureka e Ryan *apud* Ribeiro *et al* (1999), postulam que o QFD é um caminho sistemático para garantir que o desenvolvimento das características e especificações do produto, bem como o desenvolvimento de metodologias, processo e controles, sejam orientados pela necessidade do consumidor.

Para Akao *apud* Ribeiro *et al* (1999), o QFD é uma conversão das demandas dos consumidores em características de qualidade, desenvolvendo uma qualidade de projeto para o produto acabado, pelos relacionamentos desdobrados sistematicamente entre as demandas e as características, começando com a qualidade de cada componente funcional e estendendo o desdobramento para a qualidade de cada parte e processo. Assim, a qualidade do produto como um todo será gerada através de uma rede de relacionamentos.

Segundo Cohen *apud* Ribeiro *et al* (1999), o QFD é um método de planejamento e desenvolvimento estruturado de produtos, que possibilita a um grupo de desenvolvimento definir claramente os desejos e necessidades dos clientes, avaliando então, sistematicamente, cada produto ou serviço proposto e seu impacto frente a estas necessidades.

Segundo Ribeiro, Echeveste & Danilevicz (1999), podem ser tecidas breves definições para o QFD, como segue:

- É uma técnica de gestão, pois auxilia no gerenciamento de projetos simples ou complexos;
- É um método de Planejamento, onde os esforços de Engenharia são deslocados para a fase de planejamento;
- É um método de Solução de Problemas, listando O QUE precisa ser feito e COMO pode ser feito;
- Facilita a Modelagem do conhecimento, descobrindo o conhecimento técnico da Equipe;
- Facilita a documentação de informações através do uso de matrizes de dados;
- Facilita o transporte de informações, pois as matrizes relacionam-se de forma seqüencial, usando-se uma linguagem e uma lógica comuns no seu preenchimento;
- Fornece abertura à criatividade e às inovações, através de discussões multisetoriais em um ambiente de engenharia simultânea.

Conciliando estas definições, o QFD é uma técnica a ser empregada no processo de desenvolvimento do produto, incorporando no projeto as necessidades dos clientes.

Usa uma técnica de matrizes, partindo dos requisitos dos clientes, através de um processo de desdobramento, transformando estes requisitos em especificações técnicas do produto. O processo é realizado por uma equipe multidisciplinar, podendo ser a mesma da força-tarefa da engenharia simultânea. Por ser uma ferramenta que se baseia no trabalho coletivo, os membros da equipe desenvolvem uma compreensão comum sobre o processo e o produto, e se tornam comprometidos com as ações resultantes do desdobramento da qualidade.

Existem diferentes abordagens do QFD, considerando-o como uma ferramenta com amplas aplicações. Pode ser usado tanto para o planejamento da qualidade de produtos como para o planejamento organizacional, de empresas de serviços e outros.

4.1.1 Abordagem de Akao

O QFD apresentado por Akao (1988) utiliza métodos específicos para assegurar a qualidade em todos os estágios de processo de desenvolvimento do produto, iniciando com o projeto. É um método de desenvolvimento para atingir a necessidade e satisfação do cliente, e traduz suas demandas em metas do projeto, garantindo itens de qualidade, para serem usados durante a fabricação. Akao propõe matrizes descritivas para cada fase de desdobramento:

- a) desdobramento da qualidade desejada;
- b) desdobramento das características de qualidade do produto;
- c) desdobramento da tecnologia para a engenharia;
- d) desdobramento dos subsistemas;
- e) desdobramento das partes;
- f) desdobramento dos métodos de manufatura;
- g) desdobramento dos processos;
- h) desdobramento para o chão de fábrica.

Estes desdobramentos são subdivididos em 27 etapas de execução e 22 matrizes. As fases não dependem umas das outras, sendo que, em sua utilização, o desdobramento é aplicado conforme a situação (tipo de empresa, metas, melhorias,

etc...). O objetivo é garantir, também, a qualidade dos processos, sendo sugerida a utilização de técnicas de apoio, como o Planejamento de Experimentos (PE), Análise de Árvore de Falhas (FTA), Análise do Modo e Efeito de Falhas (FMEA), Engenharia de Gargalos, método Taguchi e outros.

4.1.2 Abordagem de Bob King

É praticamente a mesma de Akao, facilitando a implantação do QFD nos países ocidentais, principalmente nos Estados Unidos. Bob King (1987) reorganizou a abordagem de Akao baseado em dois pontos básicos:

- a forma de ensinar o QFD foi alterada, trocando os enigmas usados no Japão por uma compreensão mais fácil dos conceitos e procedimentos;
- as matrizes foram rotuladas por colunas e filas, atendendo aos praticantes do QFD que preferiam preencher fila por fila e de alto a baixo.

A matriz elaborada por Bob King é denominada Matriz das Matrizes e agrupa 30 delas. A sequência de utilização se adequa à finalidade do QFD, devendo-se escolher as matrizes que ajudarão a resolver os problemas.

4.1.3 Abordagem de Macabe

A abordagem proposta por Macabe é também chamada de abordagem das 4 fases. É a mais utilizada nos Estados Unidos, devido à sua simplicidade. Sua introdução e divulgação nos Estados Unidos é creditada a John R. Hauser e Don Clausing (1988).

As 4 fases são as seguintes:

Fase 1 – Planejamento do Produto ou Casa da Qualidade;

Fase 2 – Desdobramento das Partes ou Projeto do Produto;

Fase 3 – Planejamento do Processo;

Fase 4 – Planejamento do Controle do Processo ou Planejamento da Produção.

A cada fase corresponde uma matriz descritiva:

Matriz 1 – Requisitos do consumidor x requisitos técnicos;

Matriz 2 – Requisitos técnicos x características das partes;

Matriz 3 – Características das partes x características do processo;

Matriz 4 – Características do processo x métodos de controle do processo.

Esta abordagem baseia-se nos modelos de Akao e Bob King, porém não é tão abrangente como aqueles.

4.1.4 Abordagem de Ribeiro, Echeveste & Danilevicz

A abordagem de Akao, serviu de base para a elaboração do modelo conceitual proposta por Ribeiro, Echeveste & Danilevicz (1999).

- Pesquisa de mercado: obtendo a voz do cliente;
- Matriz da Qualidade;
- Matriz das Partes;
- Matriz dos Processos;
- Matriz das Características das Partes;
- Matriz dos Parâmetros dos Processos;
- Matriz dos Recursos Humanos;
- Matriz dos Recursos da Infra-estrutura;
- Matriz de Custos;
- Planejamento da Qualidade.

4.2 Abordagem do QFD adotada na empresa em estudo

A abordagem utilizada neste trabalho é a sugerida por Ribeiro, Echeveste & Danilevicz (1999), porém não utilizando todas as matrizes; o modelo usado foi o seguinte:

- Pesquisa de mercado: obtendo a voz do cliente;
- Matriz da Qualidade;
- Matriz das Partes;
- Matriz dos Processos;
- Matriz das Características das Partes;
- Matriz dos Parâmetros dos Processos;
- Projeto Preliminar;
- Planejamento da Qualidade.

Os procedimentos estão detalhados nos itens 4.2.1, 4.2.2 4.2.3, 4.2.4, 4.2.5, 4.2.6, 4.2.7 e 4.2.8 respectivamente.

4.2.1 Pesquisa de mercado: obtendo a voz do cliente.

A necessidade de um cliente é uma descrição, para utilizar suas mesmas palavras, do benefício que ele quer obter mediante o produto. Por exemplo: os clientes que utilizam as conexões de **engate rápido**, descrevem a necessidade de ter à sua disposição uma conexão com as mesmas características técnicas do **engate rápido**, com um preço mais acessível e que seja fácil de montar e desmontar.

No entender de Hauser (1999), para estruturar as necessidades dos clientes, devem ser determinadas hierarquias. As necessidades primárias ou estratégicas são as que fixam o rumo estratégico do produto. As necessidades secundárias ou táticas são elaboradas a partir das necessidades primárias. Já as necessidades terciárias indicam como a equipe de desenvolvimento do produto pode satisfazer às necessidades secundárias.

Os clientes, em geral, querem que todas as suas necessidades sejam plenamente satisfeitas, porém algumas necessidades são mais prioritárias que as outras. Estas prioridades ajudam a equipe do QFD a tomar decisões que equilibram o custo de satisfazer uma necessidade ou o benefício que o cliente irá perceber.

Segundo Hauser (1999), as percepções dos clientes descrevem como eles avaliam os produtos disponíveis em função da capacidade do produto de satisfazer suas necessidades. Quando se sabe quais produtos satisfazem melhor às necessidades do cliente, com que grau de satisfação e se existem diferenças entre o melhor produto do mercado e o produto que a empresa fabrica, a equipe do QFD pode proporcionar os objetivos e identificar as oportunidades para a equipe do desenvolvimento do produto.

Para cumprir com as necessidades do cliente, o produto deve satisfazer necessidades que possam ser medidas. Estas medições de projeto são físicas, tornando-se atributos do projeto.

Segundo Kotler *et al apud* Drumond (1995), para obter a voz do cliente e aplicá-la corretamente, é necessário o conhecimento de alguns conceitos básicos:

- Necessidades: uma necessidade humana é um estado em que se percebe alguma privação;
- Desejos: são necessidades humanas moldadas pela cultura, e as características individuais são descritas em termos de objetos ou serviços que satisfaçam às necessidades;
- Demandas: são os desejos viáveis de serem adquiridos, isto é, compatíveis com o poder de compra de cada pessoa;
- Produtos: são quaisquer coisas que possam ser oferecidas a um mercado para satisfazer a uma necessidade ou desejo;
- Mercado: é o grupo de compradores reais e potenciais de um produto.

Estes conceitos estão interligados numa relação de causa e efeito:

NECESSIDADE → DESEJO → DEMANDA → PRODUTO → MERCADO

Uma vez definido o mercado-alvo e adotada, a estratégia de desenvolvimento de produto, a empresa deve pesquisar, compreender e satisfazer às necessidades e desejos deste mercado (Drumond, 1995).

O objetivo deste trabalho é a extensão da linha dos produtos atuais com redução de custo, usando materiais, tecnologia e equipamentos existentes. Afim de aumentar a oferta do tipo de conexões para freio a ar, é necessário se posicionar em relação à voz

do cliente. A empresa já definiu seu mercado-alvo, no caso os fabricantes de caminhões, reboques e semi-reboques, especificamente para circuitos de freio a ar. A pesquisa de mercado orienta para os itens de qualidade demandada mais importantes e o nível atual de satisfação do cliente na conexão de **engate rápido** comparado com a **conexão proposta**.

Existem premissas de projeto da **conexão proposta** que são determinadas por normas e que poderiam ser consideradas como itens primários, secundários e terciários para se iniciar o QFD, desde que estes itens sejam considerados priorizados a partir da voz do cliente. Através de um questionário aberto, respondido pelo pessoal da engenharia, produção e vendas da empresa alvo deste trabalho (clientes internos), é possível a elaboração de uma árvore da qualidade demandada sem os pesos absolutos dos itens primários, secundários e terciários. Para obtenção dos pesos absolutos, realizou-se um questionário fechado com os clientes externos, ou seja, os fabricantes de caminhões, reboques e semi-reboques.

Para este estudo de caso, a responsabilidade das entrevistas individuais e do envio dos fax para os clientes ficou sob os cuidados da força-tarefa, estabelecendo-se um prazo de 30 dias para o retorno dos fax.

4.2.1.1 Questionário aberto

O questionário aberto foi responsabilidade do pessoal da força-tarefa e aplicado em forma de entrevistas individuais. Com o objetivo de obter informações para auxiliar na elaboração da árvore da qualidade demandada (sem os pesos absolutos) e formular o questionário fechado para se obter a voz do cliente, foram elaboradas três questões:

1. Quais características são consideradas importantes na **conexão proposta** para o circuito de freio a ar?
2. Considerando que o circuito pneumático não deve permitir erros de montagem, qual seria a alternativa para este fato?

3. Em relação à pós-venda, assistência técnica e manutenção ao próprio usuário, quais características são importantes?

Foi solicitado que as respostas fossem dadas em ordem de importância e no máximo com três alternativas. Os resultados da frequência absoluta foram tabulados por questões e calculou-se a frequência relativa (percentual) conforme Quadro 4.

Quadro 4 – Tabulação do questionário aberto

Questão	Respostas	Frequência	Freq. Relativa (%)
1	Vazamento zero	9	33,3
	Montagem rápida	7	25,9
	Resistência à pressão	2	7,4
	Resistência a vibrações	1	3,7
	Conexões montadas*	2	7,4
	Conexões não-lineares orientáveis	2	7,4
	Não escapamento do tubo	1	3,7
	Não vazamento quando o tubo for forçado	1	3,7
	Identificação de bitolas semelhantes*	1	3,7
	Não enferrujamento*	1	3,7
2	Fácil montagem e desmontagem	7	70,0
	Identificação de bitolas	3	30,0
3	Não necessite repor componentes	9	56,3
	Não escape do tubo	2	12,5
	Não vaze	2	12,5
	Não enferruje*	2	12,5
	Não vaze com vibrações	1	6,2

* Estes itens não foram considerados para a elaboração da árvore de qualidade demandada, por se tratarem de características que já estão incorporadas às condições de projeto.

As respostas do questionário aberto destacaram como itens primários as características técnicas do produto e a assistência técnica. Com estes itens, a engenharia elaborou a árvore de qualidade demandada sem os pesos absolutos, conforme Quadro 5.

Quadro 5 - Árvore de qualidade demandada sem os pesos absolutos

Primárias	Secundárias	Terciárias
Características Técnicas	Vazamento	Vazamento zero, não vaze Resistente a vibrações Não vaze quando o tubo for forçado
	Montagem/Desmontagem	Montagem/desmontagem rápida Não-lineares orientáveis
	Resistência	Resistente à pressão Não escape do tubo
Assistência Técnica	Manutenção	Fácil desmontagem Sem reposição de componentes

4.2.1.2 Questionário fechado

A partir da árvore da qualidade demandada, a força-tarefa elaborou o questionário fechado, já utilizando termos mais técnicos para ouvir a voz dos clientes externos. Os questionários foram enviados via fax para os clientes externos (setores de engenharia e pós-vendas). O objetivo é determinar os pesos de cada item dos níveis terciários, baseado nas respostas do questionário fechado.

Quadro 6 – Questionário fechado

A indústria de conexões para Freio a Ar está pesquisando melhorias a serem agregadas a um modelo novo de conexão, e gostaria de sua opinião em relação ao questionário abaixo formulado.

Dê as notas, em ordem de importância, para cada questão.

Importância	Muito importante	Importante	Indiferente	Desnecessário	Não interessa
2 Nota s	10-9	8-7	6-5	4-3	2-1

1. Quanto às características de vazamento, quais itens merecem mais atenção?

	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Ótima resistência a vazamentos em condições normais										
Ótima resistência a vazamentos em condições de vibração										
Ótima resistência a vazamentos quando o tubo é forçado na saída da conexão										

2. Quanto às características da linha de montagem, quais itens merecem mais atenção ?

	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Ótima condição demontagem/desmontagem do tubo										
Ótima orientação (não-lineares)										

3. Quanto à resistência, quais os itens de maior importância ?

	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Ótima resistência à pressão										
Ótima resistência à tração										

4. Quanto à assistência técnica, quais características são relevantes ?

	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Ótima condição de desmontagem da conexão										
Total reaproveitamento dos componentes										

Foram enviados 30 questionários para os clientes externos, retornando 22; estes resultados possibilitaram a elaboração da árvore da qualidade demandada com seus pesos absolutos. Os resultados do questionário fechado e seus pesos absolutos estão apresentados no anexo 1.

A voz do cliente, obtida através da pesquisa de mercado foi traduzida para uma linguagem técnica. Esta pesquisa foi convertida para a árvore da qualidade demandada com seus pesos absolutos conforme Quadro 7.

Quadro 7 – Árvore da qualidade demandada com os pesos absolutos

Primárias	P (%)	Secundárias	P (%)	Terciárias	P (%)
Características Técnicas	80	Ótimo desempenho em vazamentos	36	Ótima resistência a vazamentos em condições normais	14,2
				Ótima resistência a vazamentos em condições de vibração	14,2
				Ótima resistência a vazamentos quando o tubo é forçado na saída da conexão	7,6
		Ótimo desempenho na linha de montagem	17,4	Ótima condição de montagem/desmontagem do tubo	11,8
				Ótima orientação (não-lineares)	5,6
		Ótima resistência	26,6	Ótima resistência à pressão	13,3
				Ótima resistência à tração	13,3
Assistência Técnica	20	5 Ótima manutenção	20	Ótima condição de desmontagem das conexão	13,3
				Total reaproveitamento dos componentes	6,7

4.2.2 Matriz da qualidade

A matriz da qualidade é obtida pelo cruzamento de demanda de qualidade dos clientes com as características da qualidade. É a matriz que executa o projeto da qualidade, convertendo as qualidades exigidas pelos clientes em características da qualidade do produto.

A árvore da qualidade demandada (Quadro 7) é a entrada para iniciar o sistema da qualidade. A saída deste sistema são as especificações do produto ou características técnicas, com suas especificações. A figura 9 mostra a matriz da qualidade e seus elementos.



Figura 9 – Matriz da qualidade adaptado de: Ribeiro, Echeveste & Danilevicz (1999).

4.2.2.1 Desdobramento da qualidade demandada

O desdobramento da qualidade demandada são os requisitos dos clientes, já citados anteriormente; estes requisitos são os itens terciários da Árvore da Qualidade Demandada com seus pesos absolutos (Quadro 7). Para a **conexão proposta**, estes itens são:

- resistência a vazamentos em condições normais;
- resistência a vazamentos em condições de vibração;
- resistência a vazamentos quando o tubo é forçado na saída da conexão;
- facilidade de montagem e desmontagem do tubo;
- facilidade de orientação das conexões não lineares;
- resistência à pressão;
- resistência à tração;
- facilidade de desmontagem da conexão;
- total reaproveitamento dos componentes.

4.2.2.2 Desdobramento das características da qualidade com especificações

O desdobramento das características da qualidade com especificações são as características técnicas necessárias para assegurar a qualidade do produto final. Estas características devem ser mensuráveis e é necessário definir especificações para elas. A engenharia definiu as especificações baseando-se na conexão de **engate rápido** conforme Figura 1, porém alterando o sistema orientável com contra-porca para macho giratório e introduzindo o uso do inserto:

- 1 – diâmetro do alojamento do “o” ring no corpo ($\pm 0,08$ mm).
- 2 – diâmetro interno do “o” ring do corpo ($\pm 0,1$ mm).
- 3 – espessura do “o” ring corpo ($\pm 0,08$ mm).
- 4 – diâmetro externo do inserto ($\pm 0,1$ mm).
- 5 – diâmetro do alojamento do “o” ring no anel de vedação ($\pm 0,08$ mm).
- 6 – diâmetro interno do “o” ring do anel de vedação ($\pm 0,1$ mm).
- 7 – espessura do “o” ring do anel de vedação ($\pm 0,08$ mm).
- 8 – diâmetro do alojamento do tubo no corpo ($\pm 0,1$ mm).

- 9 – comprimento do inserto ($\pm 0,3$ mm)
- 10 – diâmetro do alojamento do “o” ring no macho giratório ($\pm 0,08$ mm).
- 11 – diâmetro de encaixe do “o” ring na ponteira das não-lineares ($\pm 0,08$ mm).
- 12 – diâmetro interno do “o” ring no macho giratório ($\pm 0,08$ mm).
- 13 – espessura do “o” ring macho giratório ($\pm 0,08$ mm).
- 14 - diâmetro interno da pinça ($\pm 0,1$)
- 15 - diâmetro externo da pinça ($\pm 0,1$)
- 16 – espessura da pinça ($\pm 0,05$)
- 17 – largura do rasgo da pinça ($\pm 0,1$)
- 18 - diâmetro do alojamento da pinça no corpo ($\pm 0,1$)

4.2.2.3 Correlações entre as características da qualidade

As correlações entre as características da qualidade são o cruzamento das características da qualidade entre si, sempre duas a duas e identificando como elas se relacionam. As correlações podem ser de apoio mútuo, isto é, o bom desempenho de uma característica favorece o desempenho de outra; ou de conflito, neste caso, o bom desempenho de uma característica prejudica o bom desempenho da outra. Esta correlação não foi avaliada neste estudo de caso.

4.2.2.4 Relacionamento da qualidade demandada - DQ_{ij}

O relacionamento da qualidade demandada DQ_{ij} é a intersecção de qualidade demandada dos clientes com as características da qualidade; a função é permitir a identificação de como e quanto cada característica da qualidade influencia no atendimento de cada requisito dos clientes.

Cheng *et al* (1995) afirmam que o preenchimento destas relações deve ser feito com todos os membros da equipe do QFD, com a obtenção do consenso sobre a intensidade das relações. Quanto à intensidade dos níveis, as relações podem variar de

forte, média, fraca a inexistente para alguns autores e, para outros, de forte, média a fraca. Para este estudo de caso, a equipe que realizou o QFD foi a mesma da força-tarefa e usou a seguinte relação de intensidade, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Escala de intensidade DQ_{ij} para o QFD da **conexão proposta**.

Escala	Intensidade
9	Fortíssima
8	Muito forte
7	Forte
6	Média
5	Razoável
4	Pouca influência
3	Fraca
0	Não existe

Conforme a matriz da qualidade apresentada na Figura 10 ótima resistência a vazamento em condições de vibração tem uma relação fortíssima com a maioria dos itens das características da qualidade.

Matriz da Qualidade																							
Especificações		Importância da Qualidade Demandada ID _i																					
		Diam. do alojamento do "o"ring no corpo																					
		Diam. interno do "o"ring do corpo																					
		Epessura do "o"ring do corpo																					
		Diam. externo do inserto																					
		Diam. do alojamento do "o"ring no anel de vedação																					
		Diam. interno do "o" ring do anel de vedação																					
		Epessura do "o"ring do anel de vedação																					
		Diam. do alojamento do tubo no corpo																					
		Comprimento do inserto																					
		Diam. do alojamento do "o"ring no macho giratório																					
		Diam. de encaixe do "o"ring na ponteira das não lineare																					
		Diam. interno do "o"ring do macho giratório																					
		Epessura do "o"ring no macho giratório																					
		Diam. interno da pinça																					
		Diam. externo da pinça																					
		Epessura da pinça																					
		Largura do rasgo da pinça																					
		Diam. do alojamento da pinça no corpo																					
																			</				

Figura 10 – Matriz da qualidade com seus cálculos

4.2.2.5 Importância ID_i

A importância ID_i são os pesos absolutos da pesquisa de mercado e foi estabelecida na Árvore da Qualidade Demandada; conforme Quadro 7. A identificação do grau de importância está relacionada com:

- clientes externos, através das pesquisas de mercado, que atribuem uma nota a cada requisito;
- clientes internos, que podem avaliar as qualidades lineares, óbvias e atrativas.

Os itens de maior importância, conforme a Figura 10, foram:

- resistência a vazamentos em condições normais ($ID_i = 14,2$);
- resistência a vazamentos em condições de vibração ($ID_i = 14,2$);
- resistência à pressão ($ID_i = 13,3$);
- resistência à tração ($ID_i = 13,3$);
- desmontagem do conjunto ($ID_i = 11,8$).

4.2.2.6 Avaliação estratégica E_i

A avaliação estratégica E_i está relacionada com as metas da empresa para o futuro e leva em conta a importância do item a ser avaliado, considerando a competitividade e sobrevivência estratégica para a empresa. A escala adotada está exemplificada na Tabela 2.

Tabela 2 – Escala de intensidade para avaliação estratégica E_i

Fonte: Ribeiro, Danilevicz & Echeveste (1999)

Escala	Importância
0,5	Pequena
1,0	Média
1,5	Grande
2,0	Muito grande

Ótima resistência a vazamento em condições normais, ótima resistência a vazamento em condições de vibração, fácil montagem/desmontagem do tubo e fácil

orientação de conexões não-lineares são considerados itens da qualidade demandada estratégicos para a empresa (Figura 10).

4.2.2.7 Avaliação competitiva M_i

A avaliação competitiva M_i busca identificar como os clientes percebem o desempenho do produto da empresa comparando com o produto dos principais concorrentes. É importante que a equipe que está analisando tenha um alto grau de conhecimento do produto dos concorrentes. Para este estudo de caso, a avaliação competitiva da **conexão proposta** foi realizada em relação à conexão de **engate rápido**. A escala utilizada é a sugerida na Tabela 3.

Tabela 3 – Escala de intensidade para avaliação competitiva M_i

Fonte: Ribeiro, Echeveste & Danilevich (1999)

Escala	Comparação
0,5	Acima da concorrência
1,0	Similar à concorrência
1,5	Abaixo da concorrência
2,0	Muito abaixo da concorrência

Ótima resistência a vazamentos quando o tubo é forçado na saída da conexão está abaixo, em relação à conexão de **engate rápido** (Figura 10).

4.2.2.8 Priorização da qualidade demandada ID_i^*

A priorização da qualidade demandada ID_i^* é o resultado do cálculo que considera a importância de cada item da qualidade demandada ID_i , avaliação estratégia E_i e a avaliação competitiva M_i . A fórmula utilizada é a seguinte:

$$ID_i^* = ID_i \times \sqrt{E_i \times M_i} \quad \text{eq. 1}$$

Esse índice representa a prioridade de atendimento de cada requisito, indica onde os esforços de desenvolvimento devem ser concentrados, seja nos requisitos mais importantes, nos estratégicos para a empresa ou nos requisitos que a empresa necessita introduzir. A Figura 11 mostra os itens da qualidade demandada que foram priorizados:

1. Ótima resistência a vazamentos em condições de vibração	28,4
2. Ótima condição de montagem/desmontagem do tubo	20,4
3. Ótima resistência a vazamentos em condições normais	20,0
4. Ótima resistência à pressão	11,5
5. Ótima resistência à tração	11,5
6. Ótima orientação (não-lineares)	11,2
7. Ótima condição de desmontagem da conexão	9,4
8. Ótima resistência a vazamentos quando tubo é forçado na saída da conexão	9,3
9. Total reaproveitamento dos componentes	6,7

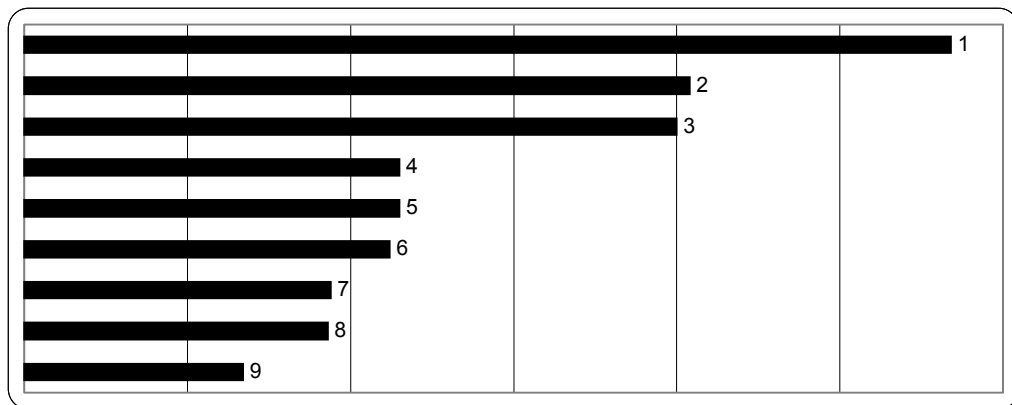


Figura 11 – Priorização da qualidade demandada

4.2.2.9 Importância das características da qualidade IQ_j

A importância das características da qualidade IQ_j é calculada a partir dos valores dos índices de importância corrigidos de qualidade demandada ID_i^* e da intensidade do relacionamento entre os itens da qualidade demandada e das características de qualidade DQ_{ij} , através da fórmula:

$$IQ_j = \sum_{i=1}^I DQ_{ij} \times ID_i^* \quad \text{eq. 2}$$

onde I é o número total de qualidades demandadas pelo cliente.

4.2.2.10 Avaliação da dificuldade de atuação sobre as características da qualidade D_j

A avaliação da dificuldade de atuação sobre as características da qualidade D_j expressa a dificuldade tecnológica que a empresa terá para obter o valor determinado para a qualidade projetada das características da qualidade, dentro de parâmetros pré-determinados de confiabilidade e custos. São atribuídos valores àquelas características técnicas que, para a obtenção da sua qualidade projetada, implicam em dificuldades técnicas. A escala utilizada é a sugerida na Tabela 4.

Tabela 4 – Escala de intensidade da dificuldade técnica D_j

Fonte: Ribeiro, Echeveste & Danilevich (1999)

Escala	Dificuldade de atuação
0,5	Muito difícil
1,0	Difícil
1,5	Moderado
2,0	Fácil

O diâmetro de alojamento do “o” ring no corpo é de difícil atuação e a largura do rasgo da pinça é de atuação fácil (Figura 10).

4.2.2.11 Avaliação competitiva das características da qualidade B_j

A avaliação competitiva das características da qualidade B_j é feita em relação ao produto sob o ponto de vista da engenharia em comparação com os concorrentes. Isto é, define-se quais são os valores ideais para as características do produto em desenvolvimento.

Consiste em medir o valor real de cada característica da qualidade que foi submetida à avaliação do cliente. A equipe do QFD deve verificar se a avaliação competitiva técnica está coerente com a dos clientes. As avaliações são coerentes entre si quando o desempenho técnico justifica as notas que os clientes deram para o desempenho relativo de cada característica. A escala utilizada é a sugerida na Tabela 5.

Tabela 5 – Escala de intensidade para avaliação competitiva B_j

Fonte: Ribeiro, Echeveste e Danilevich (1999)

Escala	Avaliação competitiva
0,5	Acima da concorrência
1,0	Similar à concorrência
1,5	Abaixo da concorrência
2,0	Muito abaixo da concorrência

Uma avaliação competitiva com a conexão de **engate rápido**, o diâmetro interno do “o” ring do corpo, a espessura do “o” ring do corpo, o diâmetro externo do inserto, o diâmetro de alojamento do “o” ring no anel de vedação, por exemplo, são bastante similares (Figura 10).

4.2.2.12 Priorização das características da qualidade IQ_j*

A priorização das características da qualidade para as quais deve ser direcionada mais atenção no projeto é calculada considerando:

- importância das características da qualidade IQ_j;
- avaliação da dificuldade de atuação D_j;
- avaliação competitiva B_j.

A fórmula utilizada é a seguinte:

$$IQ_j^* = IQ_j \times \sqrt{D_j \times B_j} \quad \text{eq. 3}$$

A Figura 12 mostra as características da qualidade priorizadas para a **conexão proposta**:

1. Largura do rasgo da pinça	16,8
2. Espessura da pinça	16,4
3. Diam. interno da pinça	14,5
4. Diam. externo da pinça	14,5
5. Diam. do alojamento da pinça no corpo	13,6
6. Diam. do alojamento do tubo no corpo	11,7
7. Espessura do "o"ring do corpo	10,6
8. Diam. externo do inserto	10,1
9. Diam. interno do "o"ring do macho giratório	9,7
10. Diam. interno do "o"ring do corpo	9,5
11. Diam. do alojamento do "o"ring no macho giratório	9,1
12. Diam. de encaixe do "o"ring na ponteira das não lineares	9,1
13. Diam. do alojamento do "o"ring no corpo	8,9
14. Espessura do "o"ring no macho giratório	8,1
15. Comprimento do inserto	8,1
16. Diam. do alojamento do "o"ring no anel de vedação	7,7
17. Diam. interno do "o" ring do anel de vedação	7,2
18. Espessura do "o"ring do anel de vedação	7,2

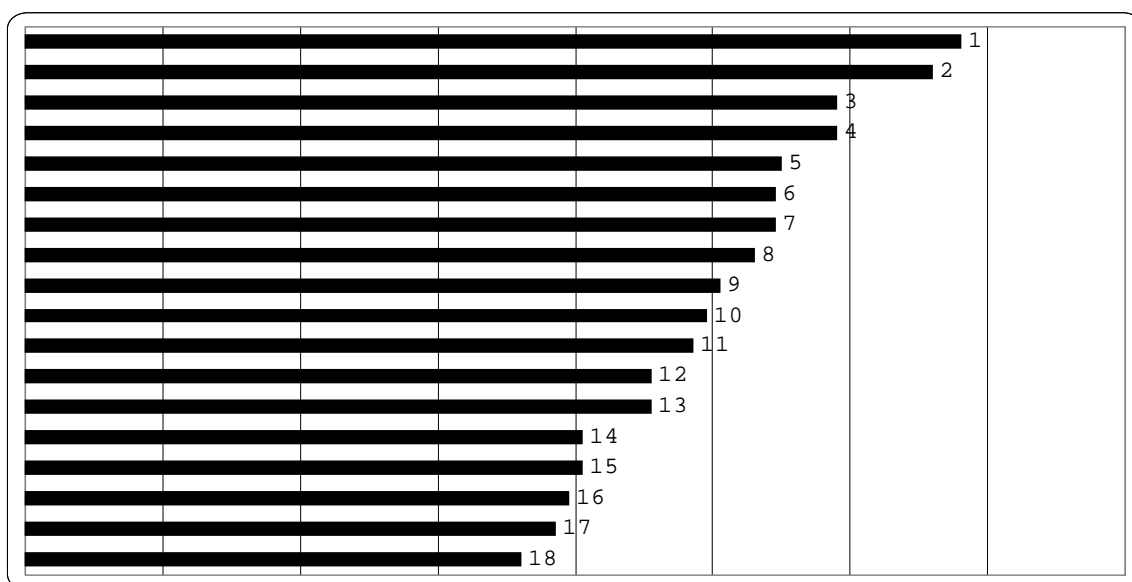


Figura 12 – Características da qualidade priorizadas

4.2.3 Matriz das partes

A matriz das partes e seus elementos (Figura 13) têm por objetivo, a partir do desdobramento do produto em seus componentes, relacioná-los com as características da qualidade com especificações. O resultado é a priorização e a identificação das partes críticas, para que o produto final tenha a qualidade demandada pelo cliente.

<div>  </div>					
DESDOBRAMENTO DO PRODUTO	RELACIONAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE COM AS PARTES CONSTITUINTES DO PRODUTO (PQ_{ij}) 9- Fortíssima 8- Muito forte 7- Forte 6- Média 5- Razoável 4- Pouca influência 3- Fraca 0- Não existe	$IP_i = \sum_{j=1}^J PQ_{ij} \times IQ_j^*$	$IP_i = \sum_{j=1}^J PQ_{ij} \times IQ_j^*$	$F_i \rightarrow \text{DIFICULDADE}$	$T_i \rightarrow \text{TEMPO}$
		IMPORTÂNCIA	DIFICULD. DE IMPLANTAÇÃO	$F_i \rightarrow \text{DIFICULDADE}$	$T_i \rightarrow \text{TEMPO}$
			TEMPO DE IMPLANTAÇÃO	$F_i \rightarrow \text{DIFICULDADE}$	$T_i \rightarrow \text{TEMPO}$
			PRIORIZAÇÃO	$IP_i^* = IP_i \times \sqrt{F_i \times T_i}$	$IP_i^* = IP_i \times \sqrt{F_i \times T_i}$

Figura 13 – Matriz das partes adaptado de: Ribeiro, Echeveste & Danilevicz, (1999)

4.2.3.1 Desdobramento do produto

O desdobramento do produto consiste na identificação de todos os seus componentes, qualificando quais os críticos, com maior grau de importância, para atender às demandas da qualidade, dentro de um critério de priorização.

Os componentes da **conexão proposta**, conforme Figura 2, estão abaixo relacionados:

- corpo (lineares e não lineares);
- pinça;
- inserto;
- macho giratório;
- anel de vedação;
- anel “o” ring do tubo;
- anéis “o” ring do macho giratório;
- anéis “o” ring do anel de vedação.

4.2.3.2 Relacionamento das características da qualidade com as partes do produto PQ_{ij}

O relacionamento das características da qualidade com as partes do produto PQ_{ij} implica na avaliação do grau de intensidade entre as partes e as características da qualidade. Esta relação de intensidade é a mesma da Tabela 1.

O corpo tem relações com praticamente todas as características da qualidade, destacando-se uma intensidade fortíssima com o diâmetro do alojamento do “o” ring no corpo e o diâmetro interno do “o” ring no corpo. A Figura 14 mostra a matriz das partes com seus cálculos.

Especificações		+/- 0,08 mm	+/- 0,1 mm	+/- 0,08 mm	+/- 0,1 mm	+/- 0,08 mm	+/- 0,1 mm	+/- 0,08 mm	+/- 0,1 mm	+/- 0,03 mm	+/- 0,08 mm	+/- 0,08 mm	+/- 0,1 mm	+/- 0,08 mm	+0,1	-0,1	+/- 0,05 mm	+/- 0,05 mm	+0,1				
Matriz das Partes		Diam. do alojamento do "o"ring no corpo	Diam. interno do "o"ring do corpo	Espessura do "o"ring do corpo	Diam. externo do inserto	Diam. do alojamento do "o"ring no anel de vedação	Diam. interno do "o"ring do anel de vedação	Espessura do "o"ring do anel de vedação	Diam. do alojamento no corpo do tubo	Comprimento do inserto	Diam. do alojamento do "o"ring no macho giratório	Diam. de encaixe do "o"ring na ponteira das não lineares	Diam. interno do "o"ring do macho giratório	Espessura do "o"ring no macho giratório	Diam. interno da pinça	Diam. externo da pinça	Espessura da pinça	Largura do rasgo da pinça	Diam. do alojamento da pinça no corpo				
																				IP _i	F _i	T _i	IP _i *
Corpo		9	9	8		8	8	3	3	3	3	3	6	5	5	5	5		3	852	2,0	2,0	170,3
Pinça		6	6	9	8	3	3	3	5	6					9	9	9	9	9	1028	2,0	2,0	205,6
Inserto					9				8	9					8	7		6	3	536	2,0	2,0	107,2
Macho giratório											9	9	9	9						324	2,0	2,0	64,8
Anel de vedação						9	9	9												205	2,0	2,0	41,0
Anel "o"ring do tubo		9	9	9	7															362	1,0	1,0	36,2
Aneis "o" ring do macho giratório											9	9	9	9						324	1,5	1,5	48,6
Aneis "o" ring do anel de vedação									9	9	7	7								289	1,0	1,0	28,9
IQ _j *		10,9	10,9	10,6	10,1	7,7	7,9	7,2	9,9	8,1	9,1	9,1	9,7	8,1	11,8	11,8	13,2	13,8	11				

Figura 14 - Matriz das partes com seus cálculos

4.2.3.3 Definição da importância das partes IP_i

A definição da importância das partes IP_i é calculada a partir da intensidade do relacionamento entre as partes e as características da qualidade PQ_{ij} e do índice de importância corrigido das características da qualidade IQ_j^* .

A fórmula utilizada é a seguinte:

$$IP_i = \sum_{j=1}^J PQ_{ij} \times IQ_j^* \quad \text{eq. 4}$$

onde J é o número total de características de qualidade.

O resultado significa um valor real de participação de cada parte, para a obtenção das características da qualidade. Os valores podem ser observados na matriz das partes, na Figura 14. O corpo e a pinça são considerados partes importantes neste relacionamento com as características da qualidade.

4.2.3.4 Avaliação da dificuldade e tempo de implantação das melhorias nas partes F_i e T_i

A avaliação da dificuldade de implantação F_i e do tempo de implantação T_i indica como serão priorizadas as partes que devem ter maior atenção. Para esta avaliação foi utilizada a Tabela 6.

Tabela 6 – Escala de intensidade da dificuldade e tempo de implantação

Fonte: Ribeiro, Echeveste & Danilevicz (1999)

Dificuldade F_i		Tempo T_i	
0,5	Muito difícil	0,5	Muito grande
1,0	Difícil	1,0	Grande
1,5	Moderada	1,5	Moderado
2,0	Fácil	2,0	Pequeno

Como pode-se ver na Figura 14 o corpo, a pinça, o inserto, o macho giratório e o anel de vedação são fáceis de implantar e necessitam de pouco tempo de implantação; este fato deve-se à experiência adquirida com a conexão de **engate rápido**.

4.2.3.5 Priorização das Partes IP_i^*

A priorização das partes IP_i^* é calculada a partir da importância das partes IP_i , da dificuldade de implantar as melhorias F_i e do tempo de implantação das melhorias T_i . A fórmula utilizada é a seguinte:

$$IP_i^* = IP_i \times \sqrt{F_i \times T_i} \quad \text{eq. 5}$$

As partes priorizadas da **conexão proposta** são mostradas na Figura 15:

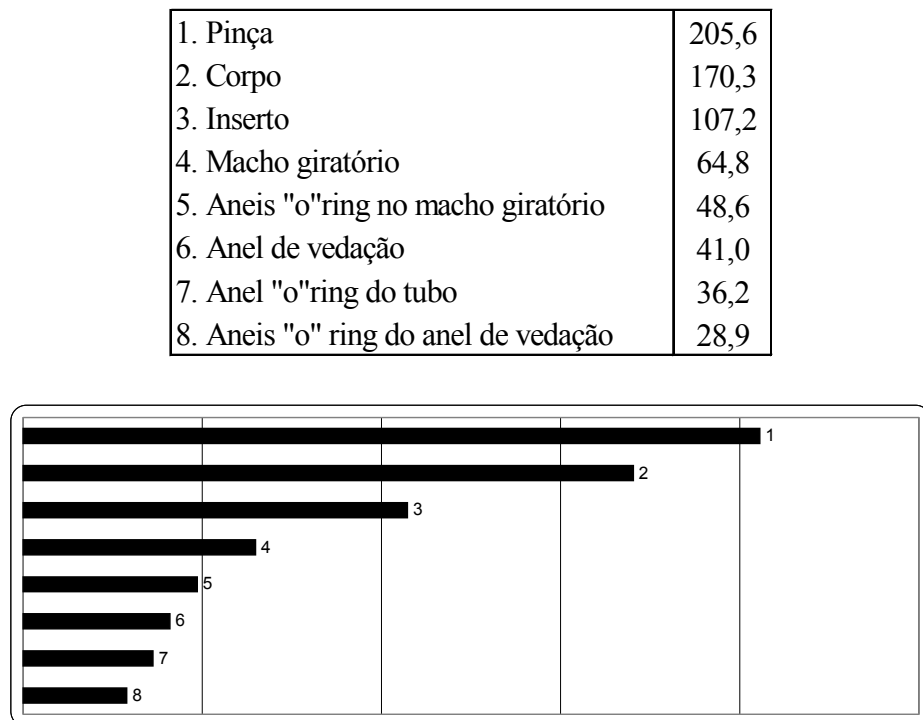


Figura 15 – Priorização das partes

4.2.4 Matriz dos processos

A matriz dos processos e seus elementos (Figura 16) tem por objetivo cruzar as características da qualidade com os processos necessários para a manufatura. O resultado é a identificação de processos críticos para a qualidade do produto. Estes processos são priorizados, para que as partes atendam às características da qualidade demandada pelos clientes.

DESDOBRAMENTO DOS PROCESSOS	DESDOBRAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE COM ESPECIFICAÇÕES.	$IPr_i = \sum_{j=1}^J PrQ_{ij} \times IQ_j^*$	$\begin{cases} \text{MUITO DIFÍCIL} = 0,5 \\ \text{DIFÍCIL} = 1,0 \\ \text{MODERADA} = 1,5 \\ \text{FÁCIL} = 2,0 \end{cases}$
	RELACIONAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE COM AS ETAPAS DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO (PrQ_{ij})	IMPORTÂNCIA	DIFÍCULDADE $F_i \rightarrow$
	9- Fortíssima 8- Muito forte 7- Forte 6- Média 5- Razoável 4- Pouca influência 3- Fraca 0- Não existe	DIFICULD. DE IMPLANTAÇÃO	TEMPO $T_i \rightarrow$
		TEMPO DE IMPLANTAÇÃO	$\begin{cases} \text{MUITO GRANDE} = 0,5 \\ \text{GRANDE} = 1,0 \\ \text{MODERADA} = 1,5 \\ \text{PEQUENA} = 2,0 \end{cases}$
		PRIORIZAÇÃO	$IPr_i^* = IP_i \times \sqrt{F_i \times T_i}$

Figura 16 – Matriz dos processos adaptado de: Ribeiro, Echeveste & Danilevicz, (1999)

4.2.4.1 Desdobramento dos processos em suas etapas constituintes

O desdobramento dos processos abrange as fases da manufatura do produto. Para a **conexão proposta**, as fases do processo são:

- recepção de matéria-prima;
- recepção de componentes;
- usinagem TB-1 corpo linear (torno automático tipo B);
- usinagem TRAN-1 corpo não-linear (máquina tipo transfer);
- usinagem TA-1 inserto (torno automático tipo A);
- usinagem TA-2 pinça;
- usinagem TA-3 anel de vedação;
- usinagem TB-2 macho giratório;
- montagem do conjunto;
- testes;
- expedição.

4.2.4.2 Relacionamento das características da qualidade com os processos PD_{ij}

O relacionamento das características da qualidade com os processos PD_{ij} significa a avaliação do grau de intensidade entre os processos e as características da qualidade. Esta relação de intensidade é a mesma da Tabela 1. A Figura 17 apresenta a matriz dos processos e seus cálculos.

A usinagem TA-2 da pinça tem uma relação de intensidade muito forte com o diâmetro externo do inserto (são importantes na montagem). A montagem do conjunto tem uma relação de intensidade razoável com todas as características da qualidade, conforme Figura 17.

Especificações		+/- 0,08 mm	+/- 0,1 mm	+/- 0,08 mm	+/- 0,1 mm	+/- 0,08 mm	+/- 0,1 mm	+/- 0,08 mm	+/- 0,1 mm	+/- 0,03 mm	+/- 0,08 mm	+/- 0,08 mm	+/- 0,1 mm	+/- 0,08 mm	+0,1	-0,1	+/- 0,05 mm	+/- 0,05 mm	+0,1				
Matriz dos Processos		Diam. do alojamento do "o"ring no corpo	Diam. interno do "o"ring do corpo	Espessura do "o"ring do corpo	Diam. externo do inserto	Diam. do alojamento do "o"ring no anel de vedação	Diam. interno do "o"ring do anel de vedação	Espessura do "o"ring do anel de vedação	Diam. do alojamento no corpo do tubo	Comprimento do inserto	Diam. do alojamento do "o"ring no macho giratório	Diam. de encaixe do "o"ring na ponteira das não lineares	Diam. interno do "o"ring do macho giratório	Espessura do "o"ring no macho giratório	Diam. interno da pinça	Diam. externo da pinça	Espessura da pinça	Largura do rasgo da pinça	Diam. do alojamento da pinça no corpo				
																				IPr_i	F_i	T_i	IPr_i*
Recepção de mp		3			3				3	3	3				3	3			3	248	1,5	1,5	372
Recepção de componentes			6	6			6	6					6	6						326	1,5	1,5	490
Usinagem TB1-corpo linear		9	7	7	7				9	8					7	7	7	5	9	899	2,0	2,0	1798
Usinagem TRAN1- corpo não-linear		9	7	7	7				9	8		9			7	7	7	5	9	981	2,0	1,0	1387
Usinagem TA1-inserto					9					7										148	1,5	1,5	221
Usinagem TA2-pinça		7	7	7	8										9	9	9	9	9	862	1,5	1,5	1293
Usinagem TA3- anel de vedação						9	7	7												175	1,0	1,5	214
Usinagem TB2-macho giratório											9									82	1,5	1,5	123
Montagem do conjunto		5	5	5	5	5	5	5	3	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	867	1,5	1,0	1061
Testes															5	5	5	5	5	308	1,5	1,5	462
Expedição						5	5	5												114	1,5	1,5	171
IQ*		10,9	10,9	10,6	10,1	7,7	7,9	7,2	9,9	8,1	9,1	9,1	9,7	8,1	11,8	11,8	13,2	13,8	11				

Figura 17 – Matriz dos processos com seus cálculos

4.2.4.3 Definição da importância dos processos IPr_i

A definição da importância dos processos IPr_i é calculada a partir da intensidade de relacionamento entre os processos e as características da qualidade PrQ_{ij} e o índice de importância corrigido das características da qualidade IQ_j^* . A fórmula utilizada é:

$$IPr_i = \sum_{j=1}^J PrQ_{ij} \times IQ_j^* \quad \text{eq. 6}$$

onde J é o número total de características de qualidade.

Este índice identifica o quanto cada processo está relacionado às características da qualidade e suas especificações, a fim de atender às características da qualidade demandada pelos clientes.

A usinagem TB-1 do corpo linear e a usinagem TRAN-1 do corpo não-linear tem importância alta nesta fase do processo como mostrado na Figura 17.

4.2.4.4 Avaliação da dificuldade e tempo de implantação de melhorias nos processos F_i e T_i

A avaliação da dificuldade F_i e do tempo de implantação T_i de melhorias nos processos é baseada em cada um dos processos, considerando a dificuldade e o tempo necessário para a implantação de melhorias, caso seja necessário. A escala utilizada é a mesma da Tabela 6.

Como pode se verificar na Figura 17 a usinagem TB-1 do corpo linear é de fácil implantação em um tempo pequeno, comparado à conexão de **engate rápido**.

4.2.4.5 Priorização dos processos IPr_i*

A priorização dos processos IPr_i* é calculada a partir da importância dos processos IPr_i, da dificuldade de realizar modificações F_i e do tempo necessário T_i para as modificações, através da fórmula:

$$I Pr_i^* = I Pr_i \sqrt{F_i \times T_i} \quad \text{eq. 7}$$

Este índice identifica os processos que devem ser priorizados para atender às características da qualidade demandada pelos clientes. Na Figura 18, apresenta-se os processos priorizados da **conexão proposta**.

1. Usinagem TB1-corpo linear	1798
2. Usinagem TRAN1-corpo não-linear	1387
3. Usinagem TA2-pinça	1293
4. Montagem do conjunto	1061
5. Recepção de componentes	490
6. Testes	462
7. Recepção de mp	372
8. Usinagem TA1-inserto	221
9. Usinagem TA3- anel de vedação	214
10. Expedição	171
11. Usinagem TB2-macho giratório	123

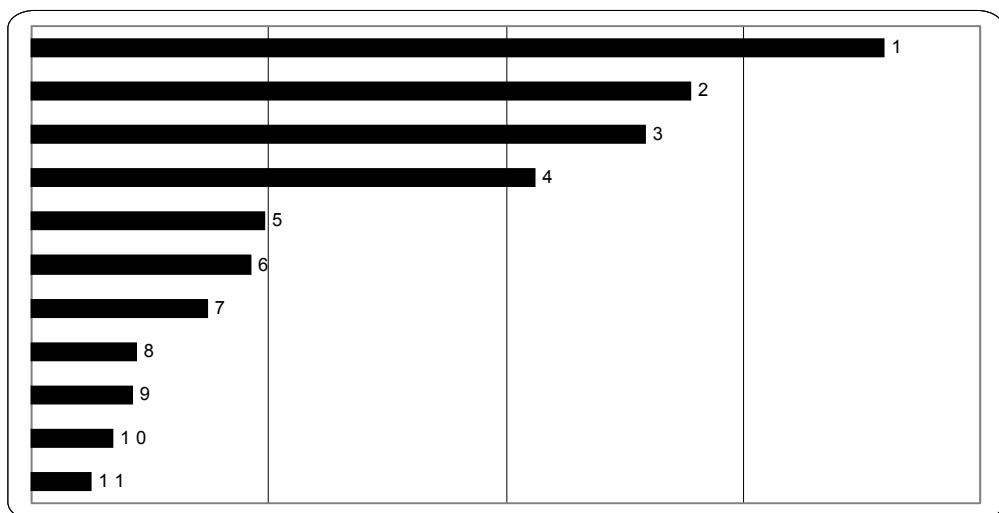


Figura 18 – Priorização dos processos

4.2.5 Matriz das características das partes

A matriz das características das partes relaciona as partes do produto com as suas características técnicas, de modo a atender às características da qualidade demandadas pelos clientes, conforme Figura 19.



Figura 19 – Matriz das características das partes adaptado de: Ribeiro, Echeveste & Danilevich (1999)

A engenharia definiu as características das partes conforme especificado nas Figuras 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26.

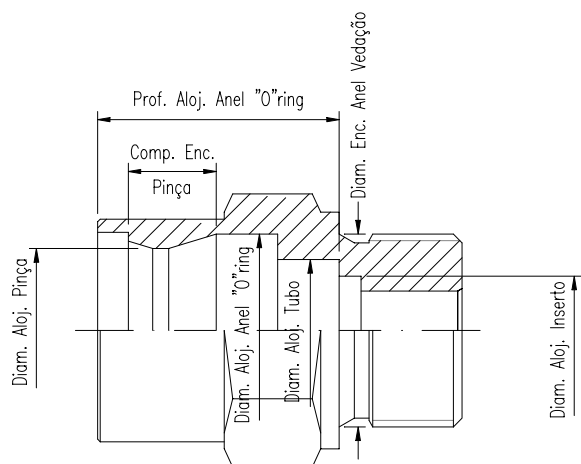


Figura 20 – Corpo linear

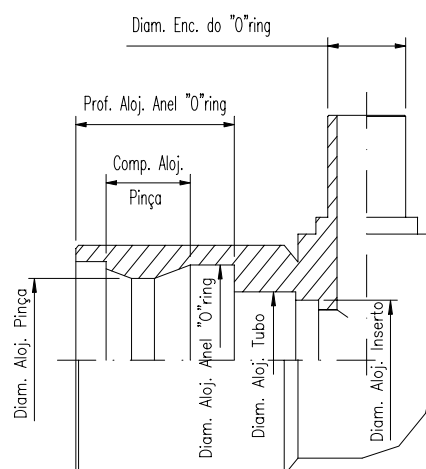


Figura 21 – Corpo não-linear

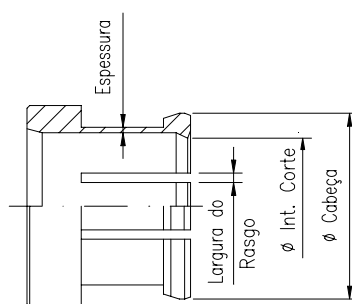


Figura 22 – Pinça

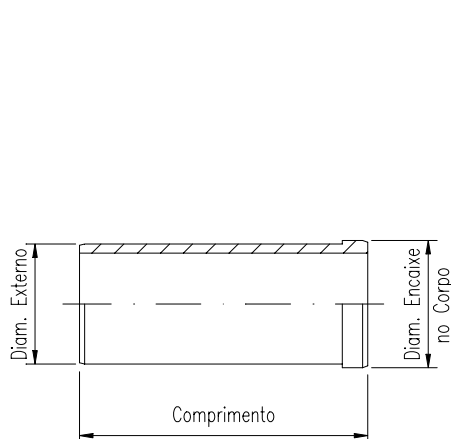


Figura 23 – Inserto

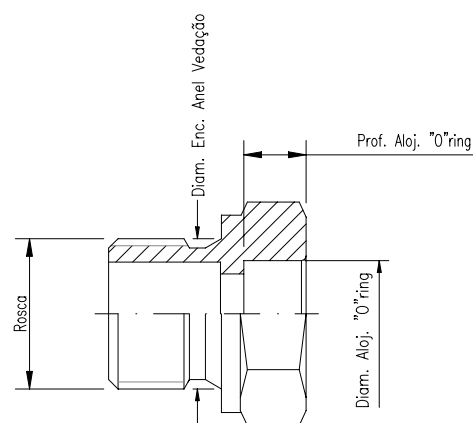


Figura 24 – Macho giratório

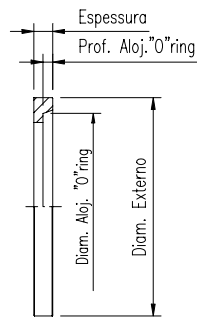


Figura 25 – Anel de vedação

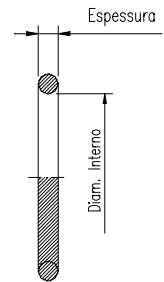


Figura 26 – Anel “o” ring do tubo, do macho giratório e do anel de vedação

A priorização das características das partes IQ_{pj}^* é calculada através das partes do produto priorizadas IP_i^* e do relacionamento entre as partes do produto e suas características $PQ_{p_{ij}}$, pela fórmula:

$$IQ_{p_j}^* = \sum_{i=1}^I PQ_{p_{ij}} \times IP_i^* \quad \text{eq. 8}$$

onde I é o número total de partes do produto.

A matriz das características das partes, com seus cálculos e os itens priorizados, é mostrada na Figura 27. Entre as características das partes priorizadas pode-se citar:

- diâmetro interno corte – mm – da pinça;
- diâmetro do alojamento do “o” ring – mm – corpo;
- diâmetro do alojamento da pinça – mm – corpo;
- largura do rasgo – mm – pinça;
- diâmetro externo – mm – pinça;
- espessura – mm – pinça.

Matriz das Características das Partes		Características das Partes																															
		Rosca sede - mm Corpo	Diam. do alojamento do "o"ring - mm - Corpo	Prof. do alojamento do "o"ring - mm - Corpo	Diam. do alojamento do tubo - mm - Corpo	Diam. do alojamento da pinça - mm - Corpo	Comprimento do encaixe da pinça - mm - Corpo	Diam. do alojamento do inserto - mm - Corpo	Diam. de enc. do anel de vedação - mm - Corpo	Diam. de enc. do "o"ring - mm - Corpo não linear	Diam. interno corte - mm - Pinça	Diam. externo - mm - Pinça	Largura do rasgo - mm - Pinça	Espessura - mm - Pinça	Rosca - mm - MG	Diam. do alojamento "o"ring - mm - MG	Profundidade do alojamento "o"ring - mm - MG	Diam. de encosto anel de vedação - mm - MG	Diam. de encaixe no corpo - mm - IN	Diam. externo - mm - IN	Comprimento em - mm - IN	Diam. externo - mm AV	Diam. do alojamento "o"ring - mm - AV	Profundidade do alojamento do "o"ring - mm - AV	Diam. interno - mm - AV	Espessura - mm - AV	Diam. interno anel "o"ring - mm - Corpo	Espessura anel "o"ring - mm - Corpo	Diam. interno anel "o"ring - mm - MG	Espessura anel "o"ring - mm - MG	Diam. interno anel "o"ring - mm -AV	Espessura do anel "o"ring - mm - AV	
		7	9	9	9	9	8	9	7	8	9	9	8	8				7	6	5	5	3	3	3	3	9	9	9	9	9	5	5	IP.*
Corpo	Pinça	7	3	3	9	9					9	9	8	9					7	7	7					6	6					170,3	
Inserto		8		3	5			9			7	5	5	5				9	9	5												107,2	
Macho giratório	Anel de vedação														9	9	9	9										9	9			64,8	
Anel "o"ring do tubo			9	9		7			9		9		9					9				9	9	9	9	9				9	9	41,0	
Aneis "o" ring no macho giratório																	9	9								9	9					36,2	
Aneis "o" ring do anel de vedação																		5				7	9	8	8	6				9	9	48,6	
IQp.*		11,9	42	25	25	42	32	25	16	14	45	39	41	37	5,8	10	10	11	22	34	28	14	11	11	11	11	31	31	26	26	15	15	28,9

Figura 27 – Matriz das características das partes com seus cálculos

4.2.6 Matriz dos parâmetros dos processos

A matriz dos parâmetros dos processos relaciona os processos da manufatura com os seus parâmetros, de modo a definir quais processos devem ser priorizados, para que se consiga a qualidade das partes e, conseqüentemente, do produto final. A Figura 28 mostra a matriz dos parâmetros do processo com seus elementos.

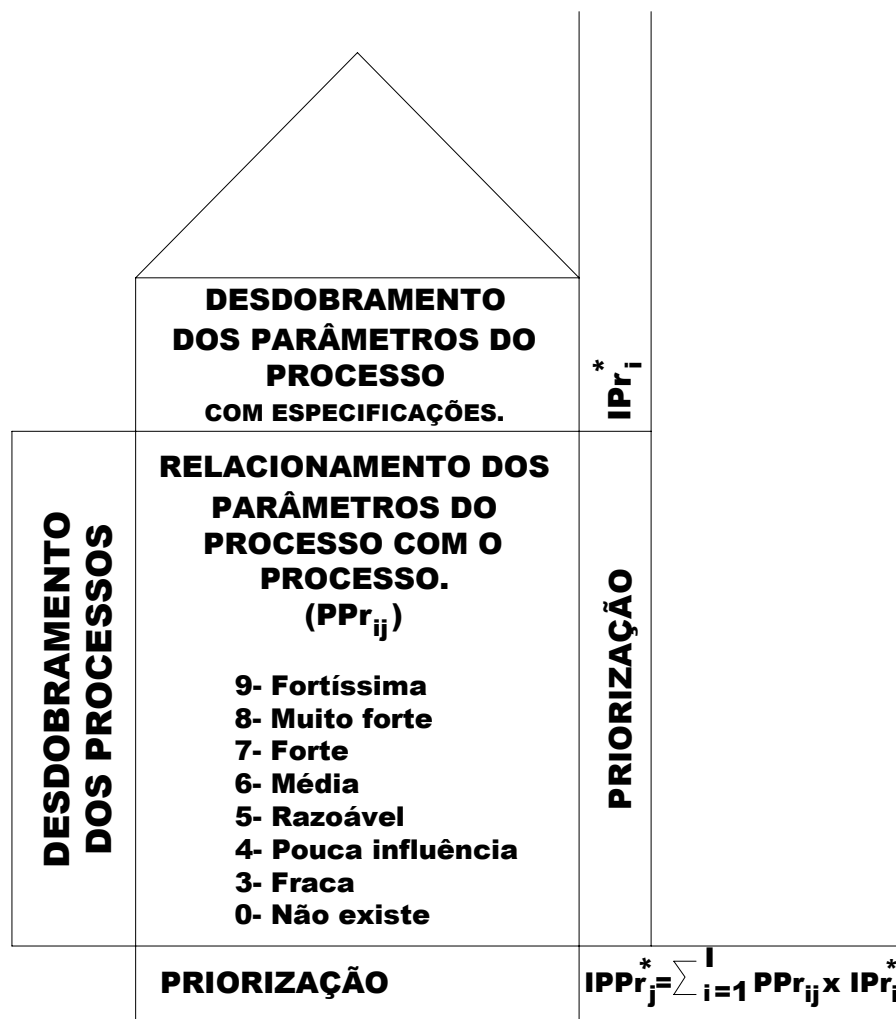


Figura 28 – Matriz dos parâmetros dos processos adaptado de Ribeiro, Echeveste & Danilevich, (1999)

O pessoal da força-tarefa definiu os parâmetros do processo a partir do conhecimento dos responsáveis pelo controle de qualidade, produção e engenharia. Os parâmetros do processo definidos foram:

- aferição paquímetro 0 – 150 mm (+/- 0,05 mm);
- verificação fendilhamento usando lupa 7x1 – (visual);
- aferição de anéis passa/não passa para roscas – (+ 0,008 mm);
- afiação brocas escalonadas – (+/- 0,05 mm);
- afiação ferramentas de perfil – (+/- 0,05 mm);
- velocidade de corte (rpm);
- avanço da ferramenta de corte – (mm/s);
- aferição do medidor do diâmetro interno com relógio comparador – (+/- 0,025 mm);
- afiação das brocas simples – (+/- 0,1 mm);
- aferição do torquímetro 0-150 Nm – (+/- 3 Nm);
- aferição manômetro 0-20 kgf/cm² – (+/- kgf/cm²);
- verificação visual – (visual);
- controle de etiquetas – (visual).

A priorização dos parâmetros dos processos $IPPr_j$ é calculada através de processos priorizados IPr_i^* e do relacionamento entre os processos e seus parâmetros PPr_{ij} pela fórmula:

$$IPPr_j^* = \sum_{i=1}^I PPr_{ij} \times IPr_i^* \quad \text{eq. 9}$$

onde I é o número total de etapas do processo.

A matriz dos parâmetros dos processos, com seus cálculos, é mostrada na Figura 29. Entre os parâmetros dos processos priorizados podem-se citar:

- afiação ferramentas de perfil – (+/- 0,05 mm);
- velocidade de corte (rpm);
- avanço da ferramenta de corte – (mm/s);
- aferição do medidor do diâmetro interno com relógio comparador – (+/- 0,025 mm).

Matriz dos Parâmetros dos Processos														
	Aferição paquímetro 0 -150 mm (+/- 0,05mm)	Verificação fendilhamento usando Lupa 7x1 - (visual)	Aferição de anéis passa/não-passa para rosas - (+0,008 mm)	Afição brocas escalonadas - (+/- 0,05 mm)	Afição ferramentas de perfil - (+/- 0,05 mm)	Velocidade de corte - (rpm)	Avanço da ferramenta de corte - (mm/s)	Aferição medidor diam. interno c/ relógio comparador - (+/-0,025 mm)	Afição das brocas simples - (+/-0,1 mm)	Aferição do torquímetro 0-150 Nm - (+/- 3 Nm)	Aferição manômetro 0-20 kgf/cm ² - (+/- 1 kgf/cm ²)	Verificação visual - (Visual)	Controle de etiquetas - (Visual)	
														IP _{ri} *
Recepção de MP	3											4		372
Recepção de componentes	3	9												490
Usinagem TB1-corpo linear	3		6	5	9	7	7	9				3		1798
Usinagem TRAN1-Não linear	3		6	6	8	5	5	9				3		1387
Usinagem TA1-Inserto	3				9	5	5		7			3		221
Usinagem TA2-Pinça	3				9	5	5							1293
Usinagem TA3- Anel de Vedação	3				9	5	5		7					214
Usinagem TB2-Macho Giratório	3				9	5	5		6					123
Montagem do Conjunto										9	9	8	7	1061
Testes						5				3	9	8		462
Expedição													9	171
IPPr _j * / 100	176,9	44,1	191,1	173,1	439,4	310,9	287,8	286,7	37,8	109,4	137,1	238,9	89,7	

Figura 29 – Matriz dos parâmetros dos processos e seus cálculos

4.2.7 Projeto preliminar

Para estabelecer os requisitos do projeto, primeiramente devem ser definidos os requisitos do cliente. Os requisitos são resultados da tradução das necessidades e experiências destes em relação à conexão **engate rápido**. No projeto, a maioria das necessidades já foram identificadas, mas nesta fase ainda é recomendado verificar se não surgirão novas necessidades de projeto.

As informações que o QFD fornece são utilizados, na matriz da qualidade e nas matrizes subseqüentes, para iniciar o projeto preliminar. O projeto preliminar corresponde à terceira fase da metodologia de desenvolvimento descrita em 2.4.

As considerações referentes ao desenvolvimento de projeto iniciam com as qualidades demandadas e priorizadas na matriz da qualidade (Figuras 10 e 11). Considera-se, a princípio, de três a quatro itens priorizados: resistência a vazamento em condições de vibração, montagem/desmontagem e resistência à vazamento em condições normais.

A matriz das características da qualidade (Figuras 10 e 12) priorizou a largura do rasgo da pinça, espessura da pinça e o diâmetro interno de corte da pinça, que estão relacionadas com as condições de vibração e tração. É necessária uma avaliação mais detalhada das priorizações na matriz das partes (Figuras 14 e 15) e na matriz das características das partes (Figura 27), de modo a atender às características da qualidade demandada pelos clientes.

A matriz das partes priorizou a pinça, o corpo, o inserto e o macho giratório. A priorização do corpo está dentro da lógica, pois é o componente da **conexão proposta** que tem relacionamento com todas as características da qualidade demandada pelos clientes; as dimensões e tolerâncias especificadas são determinantes para vedação, montagem/desmontagem e fixação do tubo. A pinça é importante na fixação do tubo, para as condições de resistência à tração; tolerâncias e determinação de folgas para a abertura e fechamento influem nas condições de montagem/desmontagem e vibração. O inserto está associado às condições de resistência à tração e vibração, seu

dimensional deve estar de acordo com as tolerâncias normativas de fabricação do tubo. O macho giratório está relacionado com a condição de fácil orientação para conexões não-lineares (joelhos e tees) e vedação no lado-sede.

Para o projeto do macho giratório, aplicou-se a tecnologia do DfM (ver 3.2.1.1). As roscas, no caso métricas, devem ser projetadas de modo a permitir que sejam conectadas com sedes-padrão para estes sistemas de conexões. As vedações com o anel “o” ring igualmente estão relacionadas com padrões construtivos. A Figura 30 apresenta o projeto preliminar da **conexão proposta**.

A engenharia avaliou a relação entre o corpo e a pinça como de fundamental importância para atender os três primeiros itens da qualidade demandada citados anteriormente.

A matriz das características das partes Figura 27, identificou, entre outras, as seguintes priorizações:

- diâmetro interno corte – mm – pinça;
- diâmetro do alojamento do “o” ring – mm – corpo;
- diâmetro do alojamento da pinça – mm – corpo;
- largura do rasgo – mm – pinça;
- diâmetro externo – mm – pinça;
- espessura – mm – pinça;

A experiência adquirida com a conexão industrial (para tubos com diâmetro externo até 8 mm) permite avaliar que as características da pinça (Figura 22), estão relacionadas com flexibilidade; larguras do rasgo e espessura dizem respeito à condição de montagem/desmontagem; diâmetro interno de corte e diâmetro externo estão relacionadas com as condições de tração e vibração. Para que as características da pinça atendam às características da qualidade demandada pelos clientes a engenharia resolveu executar protótipos e avaliá-los através de um projeto de experimentos (DOE), abordado no capítulo 5.

Em relação aos processos e seus parâmetros (Figuras 17, 18 e 29) é importante que se faça uma avaliação pois, nesta fase do projeto, a priorização dos processos sinaliza itens de relevância que devem ser considerados.

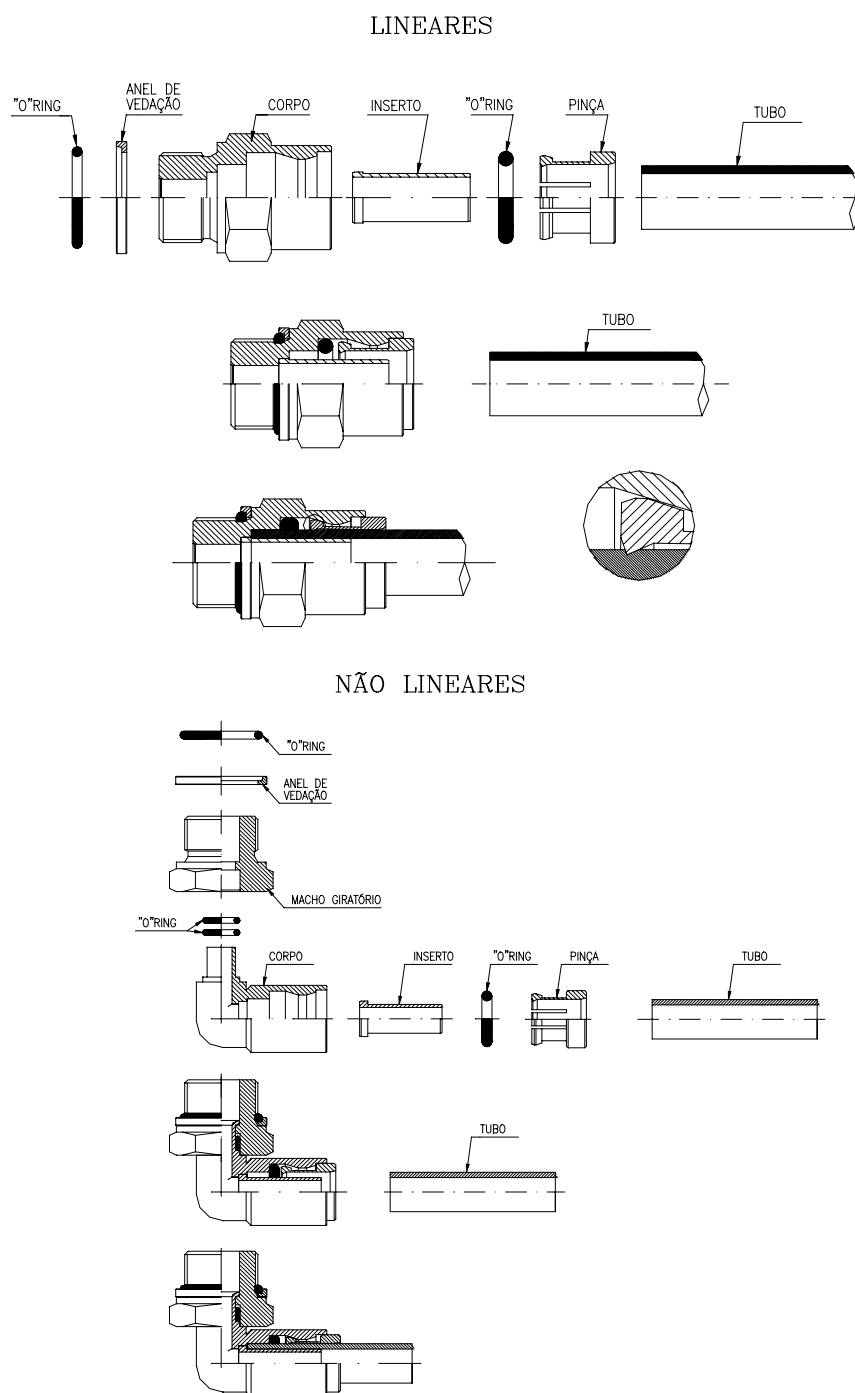


Figura 30 – Conexão proposta

Para Scapin & Vilela (1995), a geração do primeiro padrão de procedimento para processo de fabricação inicia na fase do projeto preliminar. A equipe responsável já tem uma idéia de quais processos são necessários para a fabricação. Simultaneamente ao detalhamento do produto no projeto preliminar e aos testes dos protótipos, define-se a seqüência de operações para cada etapa do processo.

Na matriz dos processos (Figura 17), a priorização maior é a da usinagem TB-1 do corpo linear, da usinagem TRAN-1 do corpo não-linear, da usinagem TA-2 da pinça e da montagem do conjunto. Estas priorizações estão associadas à matriz das características das partes (Figura 27), que prioriza para o corpo o diâmetro do alojamento do “o” ring e o diâmetro do alojamento da pinça.

Na matriz dos parâmetros dos processos (Figura 29), a afiação da ferramenta de perfil, a velocidade de corte e o avanço foram os parâmetros de maior priorização. A afiação da ferramenta de perfil está associada ao diâmetro interno de corte da pinça e os parâmetros de velocidade de corte e avanço estão relacionados com todos os processos de usinagem.

As priorizações sinalizam os pontos críticos dos processos e seus parâmetros buscando adequá-los às condições de fabricação. Estes dados tornam as decisões mais precisas na fase do projeto preliminar.

4.2.8 Planejamento da qualidade

O planejamento da qualidade leva em consideração a voz do cliente traduzida nas características da qualidade a partir da matriz da qualidade, concorrência, custo e dificuldade de implantação.

Segundo Ribeiro, Echeveste & Danilevicz (1999), o planejamento da qualidade é o ponto de partida para a realização de qualquer trabalho futuro que vise a melhoria da qualidade do produto manufaturado. A partir do QFD, ficam definidas com clareza as características da qualidade, melhorias das partes e melhorias dos processos de

manufatura. Neste planejamento da qualidade, referente a este estudo de caso, não são abordadas as melhorias de infra-estrutura e recursos humanos.

4.2.8.1 Plano de melhoria das especificações

O plano de melhoria das especificações é a avaliação feita das características da qualidade priorizadas na matriz da qualidade (Figura 10) e destacadas na Figura 12. As principais características priorizadas foram:

- largura do rasgo da pinça;
- espessura da pinça;
- diâmetro interno da pinça;

As especificações destas características da qualidade estão associadas ao item de maior priorização das características da qualidade demandada pelos clientes, que foi a resistência a vazamentos em condições de vibrações. Para a fixação de novas especificações, deve-se levar em conta a disponibilidade de recursos.

Os anéis “o” ring, normalmente usados em circuitos pneumáticos para vedações com tubos plásticos (poliamida 11 ou 12), são um composto de borracha nitrílica superiores à maioria dos compostos no tocante à deformação permanente e resistência à abrasão. No entanto, não possuem boa resistência ao ozona, luz solar e intempéries, causando fendilhamento nos mesmos. Uma nova especificação para estes anéis “o” ring pode ser o EPDM (composto de etileno-propileno) com características superiores ao composto de borracha nitrílica. Com relação ao diâmetro de alojamento do “o” ring no corpo, a melhoria de sua especificação relaciona-se às tolerâncias de montagem do material a ser utilizado no “o” ring.

4.2.8.2 Plano de melhoria das partes

O plano de melhoria das partes tem uma relação direta com as melhorias nas especificações, ou seja, alterações nas partes provocam melhorias nas especificações.

A matriz das partes (Figura 14) priorizou, entre outras, as seguintes partes, conforme Figura 15:

- pinça;
- corpo;
- inserto.

As melhorias nestas partes estão ligadas às características da qualidade demandada pelos clientes, que foram priorizadas na matriz da qualidade (Figuras 10 e 11). A pinça, o corpo, e o inserto têm um relacionamento bastante intenso com a resistência a vazamentos em condições de vibração e facilidade de montagem/desmontagem do tubo. Se alguma melhoria no corpo, para satisfazer uma característica, refletir em prejuízo de outra, este fato deve ser avaliado. Este estudo é abordado no capítulo 5, que trata do projeto de experimentos.

4.2.8.3 Plano de melhoria dos processos

O plano de melhoria dos processos deve ser orientado de modo a satisfazer às especificações de projeto, isto é, se determinada especificação de projeto é de difícil atuação no processo, algum planejamento deve ser proposto. Os quatro processos de maior priorização na matriz dos processos com as características da qualidade (Figuras 17 e 18) foram:

- usinagem TB-1 corpo linear;
- usinagem TRAN-1 corpo não-linear;
- usinagem TA-2 pinça;
- montagem do conjunto.

As usinagens TB-1 do corpo linear, TRAN-1 do corpo não-linear e usinagem TA-2 da pinça são monitoradas pelo controle da qualidade, por um critério de amostragem. A medição através de paquímetros e micrômetros foi substituída por calibradores tipo passa-não-passa que se adequam às especificações dimensionais de tolerância definidas pelo projeto. A implantação de cartas para um controle estatístico do processo (CEP) deve ser considerada após o início da produção da **conexão proposta**.

A montagem do conjunto é um processo que pode garantir o produto final dentro das características da qualidade demandada pelos clientes. A conexão proposta é fornecida montada (Figura 30), possibilitando que, neste processo, sejam verificadas as principais características da qualidade demandada (abordado no capítulo 6).

No capítulo 5 é abordado o desenvolvimento e verificação do projeto da conexão **proposta**.

5 DESENVOLVIMENTO E VERIFICAÇÃO DO PROJETO

Este capítulo trata do desenvolvimento e verificação do projeto utilizando-se como ferramenta de apoio, o projeto de experimentos (DOE); no item 5.1, abordam-se os conceitos de projetos de experimentos; no sub-item 5.1.1 apresenta-se os tipos de projetos de experimentos; no item 5.2, apresenta-se as fases do projeto de experimentos e no item 5.3, fases do experimento do produto em estudo; o sub-item 5.3.1 apresenta a voz do cliente, o sub-item 5.3.2 apresenta a voz do engenheiro, o sub-item 5.3.3 apresenta o planejamento final e execução, o sub-item 5.3.4 apresenta a análise e finalmente o sub-item 5.3.5 apresenta a otimização.

5.1 Conceitos de projetos de experimentos

Para conhecer o comportamento de produtos ou processos realizam-se experimentos, ou seja, testes. Pode-se dizer que um experimento planejado é uma série de testes onde são feitas alterações nas variáveis de entrada dos produtos ou processos, com o objetivo de identificar os efeitos dessas mudanças sobre as variáveis de saída ou variáveis de resposta do produto ou processos.

Em todos os processos de experimentação que envolvem coleta de dados devem ser usados planos estruturados para a condução dos ensaios, os quais são denominados projeto de experimentos. Com estes projetos de experimentos, podemos obter economia no número de experimentos, além de ser possível calcular, com a precisão desejada, estimativas de interesse e da variância do erro experimental.

Segundo Ribeiro (1999), R.A. Fischer, em 1935, desenvolveu as idéias básicas do planejamento de experimentos e sua relação com técnicas estatísticas, utilizando a análise de variância. Os experimentos eram voltados para a agricultura e biologia; por exemplo, analisava-se o efeito de diferentes níveis e tipos de fertilizantes (variáveis de entrada) sobre o produto de uma determinada cultura (variável de saída ou resposta).

O planejamento de experimentos (*Design of Experiments – DOE*), no entender de Montgomery (1991), é uma técnica utilizada para se planejar experimentos, ou seja, para definir quais dados, em que quantidade e em que condições devem ser coletados durante um determinado experimento buscando, basicamente, satisfazer dois grandes objetivos: a maior precisão estatística possível na resposta e o menor custo.

Em especial no desenvolvimento de produto, muitas vezes é necessário obter informações sobre produtos e processos, empiricamente. Neste momento, o trabalho das pessoas envolvidas com projetos assemelha-se ao de pesquisadores que precisam projetar experimentos, coletar dados e analisá-los.

Segundo Montgomery (1991), os objetivos do experimento podem ser dois: o primeiro deles pode ser uma confirmação, ou seja, verificar o conhecimento sobre o sistema, e o segundo pode ser a exploração do efeito de novas condições de entrada sobre o sistema.

Werkema & Aguiar (1996), afirmam que um experimento é um procedimento no qual alterações propositas são feitas nas variáveis de entrada de um processo ou sistema, de modo que se possa avaliar as possíveis alterações sofridas pela variável de resposta, como também as razões destas alterações. Pode-se afirmar que uma vez planejados, os experimentos são importantes para identificar fatores que influenciam os itens de controle de um projeto ou processo. Este modelo está representado na Figura 31.

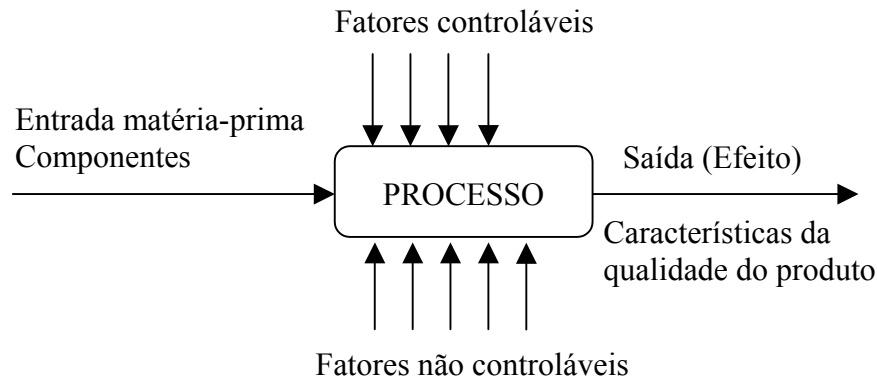


Figura 31 – Modelo de um processo ou sistema, segundo Montgomery *apud* Werkema & Aguiar (1996)

O uso de projeto de experimentos permite ao pesquisador, no entender de Ribeiro (1999), a um custo mínimo, acesso às seguintes questões:

- quais são os fatores que influenciam o que está sendo medido?
- como melhorar o produto/processo/sistema?

Pode-se concluir que a sua aplicação no desenvolvimento de novos produtos, melhorias, processos ou sistemas é muito importante, uma vez que a maior qualidade dos testes pode levar a um projeto com desempenho superior, seja em termos de suas características funcionais como também sua robustez. Segundo Coleman & Montgomery (1993), no entanto, o conhecimento técnico do projetista não pode ser substituído por esta ferramenta. O domínio do tipo de problema é de fundamental importância para o planejamento do experimento. A conjugação da experiência técnica com especialistas em planejamento de experimentos deverá permitir planejamentos mais rápidos, de menor custo e que possibilitem respostas aos problemas.

Para Montgomery (1991), o uso apropriado e inteligente das técnicas estatísticas na experimentação necessita que se tenha os seguintes pontos em mente:

- uso do conhecimento não-estatístico do problema: os projetistas são usualmente conhecedores dos problemas do projeto e este tipo de conhecimento não-estatístico é extremamente valioso na escolha dos fatores a serem testados e dos níveis destes fatores. O uso da estatística não substitui o conhecimento do problema;

- manter o projeto e a análise o mais simples possível: não exagerar no uso de técnicas estatísticas complexas e sofisticadas. Métodos de projeto e de análise relativamente simples são quase sempre os melhores. Se o projeto é realizado cuidadosa e corretamente, a análise será quase sempre confiável. No entanto, se o projeto é conduzido erroneamente, os métodos mais complexos de estatística não resolverão erros praticados no projeto;
- diferença entre a significância prática e a estatística: se duas condições experimentais produzem respostas médias que são estatisticamente diferentes, não existe uma certeza de que esta diferença seja suficiente para ter algum valor prático, em relação, por exemplo, ao custo que seria imposto para se fazer a melhoria;
- experimentos são usualmente iterativos: à medida que o experimento progride, alguns dos fatores iniciais podem ser deixados de lado, outros podem ser agregados e conseqüentemente, novas avaliações devem ser consideradas nas variáveis de resposta.

A maioria das técnicas de planejamento de experimentos requer uma quantidade exaustiva de cálculos, justificando o emprego dos recursos de informática. Em estatística, o planejamento de experimentos corresponde a uma área de estudos que desenvolve técnicas de planejamento e análise de experimentos. Existem muitas técnicas e *softwares* para o estudo dos diferentes tipos de projeto de experimentos.

5.1.1 Terminologia de projetos de experimentos

Antes de mencionar os tipos de projetos de experimentos, é necessário que se conheça a terminologia mais usada nesta ferramenta:

Aditivos = quando não existe interação entre os fatores.

Análise de variância = método para testar a hipótese de que vários grupos diferentes têm ou não a mesma média.

Características da qualidade = são as características do produto ou processo que o cliente demanda como importantes.

Correlação = indicação do grau de associação de duas grandezas, seu valor varia entre -1 e $+1$.

Confundimento = entre dois ou mais fatores é quando o projeto experimental não permite avaliar o efeito de cada fator isoladamente.

Efeito principal = de um fator: é a diferença que ele provoca na variável de resposta, quando muda do nível mais baixo para o mais alto.

Ensaio = é a realização do experimento em uma determinada combinação dos níveis dos fatores controláveis.

Fatores = são todas as variáveis de entrada ou parâmetros de processo que podem ter alguma influência sobre a variável de resposta que está sendo estudada.

Fatores constantes = são as variáveis de entrada ou parâmetros do processo que não são alterados no experimento e que são mantidos constantes no seu decorrer.

Fatores controláveis = são as variáveis de entrada ou parâmetros do processo escolhidos para serem alterados propositalmente no experimento.

Fatores não controláveis ou ruídos = são as variáveis que não podem ser controladas durante o experimento pela equipe técnica, são as responsáveis pelo erro experimental ou a variabilidade do experimento.

Fatorial = de um número inteiro n é o produto de todos os números inteiros consecutivos, desde 1 até n .

Interação = entre dois fatores é quando o efeito do fator controlável sobre a variável de resposta não é o mesmo para todos os níveis do outro fator.

Níveis de um fator = são as alterações de um fator, ou seja, os diferentes modos de presença de um fator no estudo considerado.

Parâmetro do processo = todas as variáveis de entrada da linha de produção que podem ser alteradas e que talvez tenham um efeito sobre as variáveis de resposta.

Regressão múltipla = método estatístico para analisar a relação entre várias variáveis independentes ou variáveis de entrada e uma dependente ou variável de resposta.

Regressão simples = método de análise da relação entre uma variável independente e uma dependente ou variável de resposta.

Resíduo = diferença entre o valor efetivo (real) da variável de resposta e o valor previsto pela equação de regressão.

RSM = metodologia de superfície de resposta: é uma combinação de técnicas de planejamento de experimentos, análise de regressão e métodos de otimização.

SAS, STATÍSTICA, STATGRAPHICS = são programas de estatística que auxiliam no projeto de experimentos.

Screening experiment = experimento preliminar

Tabela ANOVA = tabela que resume os resultados de um cálculo de análise de variância.

Tratamento = são as combinações específicas de diferentes níveis dos fatores controláveis; quando há apenas um fator, seus níveis correspondem aos tratamentos.

Unidade experimental = é a unidade básica para a qual será feita a medida da variável de resposta.

Variáveis de resposta = aspectos do produto ou processo que podem ser medidos e que permitem quantificar as características da qualidade.

5.1.2 Tipos de projeto de experimentos

Segundo Juran *apud* Werkema & Aguiar (1996), os planejamentos experimentais podem ser classificados de acordo com os seguintes critérios:

- pelo número de fatores a serem estudados (um único fator ou vários fatores);
- pela estrutura do planejamento experimental (planejamentos em blocos, fatoriais, hierárquicos ou para superfícies de resposta);
- pelo tipo de informação que o experimento pode fornecer (estimativa dos efeitos, da variância ou mapeamento empírico da resposta).

A classificação a seguir é uma adaptação de Juran *apud* Werkema & Aguiar (1996), que relaciona o planejamento com o tipo de aplicação, a estrutura e as informações fornecidas.

a) Completamente aleatorizados com um único fator

Tipo de Aplicação: Apropriado quando somente um fator experimental está sendo estudado.

Estrutura: Base: o efeito do fator é estudado por meio da alocação, ao acaso, das unidades experimentais aos tratamentos (níveis do fator). Os ensaios são realizados em ordem aleatória. Blocos: ausentes.

Informações fornecidas: 1- Estimativas e comparações dos efeitos dos fatores (tratamentos). 2 – Estimativa da variância do erro.

b) Fatorial

Tipo de aplicação: Adequado quando vários fatores devem ser estudados em dois ou mais níveis e as interações entre os fatores podem ser importantes.

Estrutura: Base: Em cada repetição completa do experimento, todas as combinações possíveis dos níveis dos fatores (tratamentos) são estudadas. A alocação das unidades experimentais aos tratamentos e a ordem de realização dos ensaios são feitas de modo aleatório. Blocos: ausentes.

Informações fornecidas: 1- Estimativas e comparações dos efeitos dos fatores. 2- Estimativa dos possíveis efeitos de interações. 3- Estimativa da variância do erro.

c) Fatorial 2^k em blocos

Tipo de aplicação: Adequado quando o número de ensaios necessários para o planejamento com k fatores, cada um com 2 níveis é muito grande para que sejam realizados sob condições homogêneas.

Estrutura: Base: O conjunto completo de tratamentos é dividido em subconjuntos, de modo que as interações de ordem mais alta são confundidas com os blocos. São tomadas observações em todos os blocos. Blocos: geralmente surgem como consequência de restrições de tempo, homogeneidade de materiais, etc.

Informações fornecidas: 1- Fornece as mesmas estimativas do planejamento fatorial, exceto algumas interações de ordem mais alta, que não podem ser estimadas porque estão confundidas com os blocos.

d) Fatorial 2^k fracionado

Tipo de aplicação: Adequado quando existem muitos fatores (k muito grande) e não é possível coletar observações em todos os tratamentos.

Estrutura: Base: vários fatores são estudados em dois níveis, mas somente um subconjunto do fatorial completo é executado. Blocos: Sua formação, algumas vezes, é possível.

Informações fornecidas: 1- Estimativas e comparações dos efeitos de vários fatores. 2- Estimativa de certos efeitos de interação (alguns podem não ser estimáveis). 3- Certos planejamentos fatoriais fracionados (quando k é pequeno) não fornecem informações suficientes para estimar a variância do erro.

e) Blocos aleatorizados

Tipo de aplicação: Adequado quando o efeito de um fator está sendo estudado e é necessário controlar a variabilidade provocada por fatores perturbadores conhecidos. Estes fatores (material experimental, tempo, pessoas, etc.) são divididos em blocos ou grupos homogêneos.

Estrutura: Base: são tomadas observações correspondentes a todos os tratamentos (níveis do fator) em cada bloco. Blocos: Usualmente formados em relação a um único fator perturbador.

Informações fornecidas: 1- Estimativas e comparações dos efeitos dos tratamentos livres dos efeitos do bloco. 2- Estimativa dos efeitos do bloco. 3- Estimativa da variância do erro.

f) Blocos incompletos balanceados

Tipo de aplicação: Adequado quando todos os tratamentos não podem ser acomodados em um bloco.

Estrutura: Base: os tratamentos testados em cada bloco são selecionados de forma balanceada: dois tratamentos quaisquer aparecem juntos em um mesmo bloco, o mesmo número de vezes que qualquer outro par de tratamentos.

Informações fornecidas: Idêntico ao planejamento em blocos aleatorizados. Os efeitos de todos os tratamentos são estimados com igual precisão.

g) Blocos incompletos parcialmente balanceados

Tipo de aplicação: Apropriado quando um planejamento em blocos incompletos balanceados necessita de um número de blocos excessivamente grande.

Estrutura: alguns pares de tratamentos aparecem juntos λ_1 vezes, ..., e os pares restantes aparecem juntos λ_n vezes.

Informações fornecidas: Idênticos ao planejamento em blocos aleatorizados, mas os efeitos dos tratamentos são estimados com diferentes precisões.

h) Quadrados latinos

Tipo de aplicação: Apropriado quando um fator de interesse está sendo estudado e os resultados podem ser afetados por duas outras variáveis experimentais ou por duas fontes de heterogeneidade. É suposta a ausência de interações.

Estrutura: Base: os tratamentos são distribuídos em correspondência às colunas e linhas de um quadrado. Cada tratamento aparece uma vez em cada linha e uma vez em cada coluna. O número de tratamentos deve ser igual ao número de linha e colunas do quadrado. Blocos: Formados em relação a duas variáveis perturbadoras, as quais correspondem às colunas e linhas do quadrado.

Informações recebidas: 1- Estimativas e comparações dos efeitos dos tratamentos livres dos efeitos das duas variáveis de bloco. 2- Estimativas e comparações dos efeitos das duas variáveis de bloco. 3- Estimativa da variância do erro.

i) Quadrado de Youden

Tipo de aplicação: Similares aos Quadrados Latinos, sendo que os números de linhas, colunas e tratamentos não precisam ser iguais.

Estrutura: Base: cada tratamento ocorre uma vez em cada linha. O número de tratamentos deve ser igual ao número de colunas. Blocos: Formados em relação a duas variáveis perturbadoras.

Informações fornecidas: Idêntico ao planejamento em Quadrados Latinos.

j) Hierárquico ou Aninhado

Tipo de aplicação: Experimentos com vários fatores, onde os níveis de um fator (B) são similares mas não idênticos para diferentes níveis de outro fator (A). Ou seja, o j-ésimo nível de B, quando A está no nível 1, é diferente do j-ésimo nível de B quando A está no nível 2 e assim por diante.

Estrutura: Base: os níveis do fator B estão “aninhados” sob os níveis do fator A.

Informações fornecidas: 1- Estimativas e comparações dos fatores, exceto o efeito de interação dos fatores A ou B que fica confundido com o efeito principal A.

2- Estimativa da variância do erro.

k) Superfícies de resposta

Tipo de aplicação: O objetivo consiste em fornecer mapas empíricos ou gráficos de contorno. Estes mapas ilustram a forma pela qual os fatores, que podem ser controlados pelo pesquisador, influenciam a variável de resposta.

Estrutura: Os níveis dos fatores são vistos como pontos no espaço de fatores (muitas vezes multidimensional) no qual a resposta será registrada.

Informações fornecidas: Mapas que ilustram a natureza e a forma da superfície de resposta.

5.2 Fases do projeto de experimentos

Segundo Montgomery (1991), para o uso de métodos estatísticos e na análise de um experimento é necessário que o pessoal envolvido tenha uma idéia bastante clara do que se pretende estudar. A partir dos dados coletados, deve-se ter um entendimento qualitativo de como eles são analisados. Sugere, ainda, um procedimento como segue:

- reconhecimento e afirmação do problema;
- seleção de uma variável de resposta;

- escolha do projeto experimental;
- realização do experimento;
- análise de dados;
- conclusões e recomendações.

No entender de Ribeiro (1999), em todas as fases do projeto do experimento, a equipe designada para esta tarefa necessita de conhecimentos mercadológicos, técnicos e estatísticos. A sequência sugerida é a seguinte:

- a voz do cliente (o que): os conhecimentos mercadológicos consistem nas pesquisas de mercado, rastreamento do que o cliente necessita ou qual sua expectativa em relação a determinado produto ou processo. Nesta fase, define-se as características da qualidade.
- a voz do engenheiro (como): os conhecimentos técnicos definem as variáveis de resposta, identificam a existência de possíveis variáveis de saída ou variáveis de resposta de interesse específico, os parâmetros do processo ou variáveis de entrada e seu intervalo de variação. Nesta fase identifica-se, ainda, os fatores controláveis, o número de níveis de cada um deles e suas possíveis interações. Busca-se, também, identificar as restrições experimentais relativas ao número máximo de ensaios e recursos disponíveis (equipamento, pessoal e tempo) e qual o modelo estatístico adequado ao experimento.
- planejamento final e execução: Nesta fase define-se como será a matriz experimental, isto é, qual o modelo que será utilizado, em que ordem serão efetuados os ensaios, quais os procedimentos, e elabora-se uma planilha para a coleta de dados. A execução dos experimentos deve ser acompanhada pelo pessoal técnico; possíveis não-conformidades dos parâmetros dos produtos ou processos devem ser anotadas nas planilhas que foram elaboradas para a coleta de dados.
- análise: Os conhecimentos estatísticos são importantes na análise dos dados obtidos e em como interpretá-los. Nesta fase elaboram-se gráficos e modelos estatísticos para modelar a variável de resposta em função dos fatores controláveis.
- otimização: A otimização consiste, primeiramente em modelar individualmente cada variável de resposta, em função dos fatores controláveis. Poste-

riormente, defini-se qual a função-objetivo que será utilizada para otimizar simultaneamente, as múltiplas variáveis de resposta. Por último identifica-se os ajustes dos fatores controláveis que minimiza ou maximiza a função-objetivo e, enfim, verifica-se a consistência do ajuste ótimo encontrado.

5.3 Fases dos experimentos do produto em estudo

O roteiro adotado para o planejamento de experimentos da **conexão proposta** foi o sugerido por Ribeiro (1999).

5.3.1 A voz do cliente (O QUE)

A voz do cliente da **conexão proposta** foi obtida a partir da pesquisa de mercado realizada no capítulo 4. Os itens de qualidade demandadas foram priorizados, entre outros, conforme Figura 11:

- resistência a vazamentos em condições de vibração;
- condição de montagem/ desmontagem do tubo;
- resistência a vazamentos em condições normais;
- resistência à pressão;
- resistência à tração;
- orientação das conexões não-lineares.

5.3.2 A voz do engenheiro (COMO)

a) Variáveis de resposta

O corpo e a pinça foram priorizados na matriz das partes com as características da qualidade demandada - Figura 15. No projeto preliminar (4.2.7), em função da priorização das características da pinça e do corpo na matriz das características das partes

(Figura 27), a engenharia necessitou executar protótipos para avaliar as influências destas características na qualidade demandada pelos clientes.

Estes fatos orientaram para o preenchimento de uma matriz de planejamento de experimentos, relacionando as características da qualidade demandada com as características das partes do corpo e da pinça, para definir os fatores controláveis.

Para a definição dos pesos da qualidade demandada, a engenharia considerou a resistência a vazamentos em condições de vibração e a facilidade de montagem/desmontagem do tubo com peso maior (peso 2) e resistência à tração com pesos menor (1).

A resistência a vazamentos em condições normais será satisfeita, uma vez atendida a condição de resistência a vazamentos em condições de vibração. A resistência à pressão está incorporada como premissa do produto. Estas duas características não serão avaliadas no projeto de experimentos. A facilidade de orientação das conexões não-lineares é uma condição de projeto que não se relaciona com características de resistência ou de montagem/desmontagem do tubo e não será analisada no projeto de experimentos.

Nesta etapa, é definido o tipo de características de qualidade, entre nominal é melhor, maior é melhor ou menor é melhor, a saber:

- resistência a vazamentos em condições de vibração é medida pelo deslocamento do tubo no alojamento do corpo da **conexão proposta**; quanto menor esse deslocamento, menor o risco de vazamento, logo a característica é do tipo menor é melhor;
- facilidade de montagem/desmontagem do tubo é realizada através de uma avaliação comparativa entre a operação na linha de montagem da **conexão proposta** com a conexão **engate rápido**; quanto mais fácil a montagem/desmontagem, maior a nota, logo a característica é do tipo maior é melhor;
- resistência à tração deve suportar no mínimo 150 kgf, valor exigido pela norma SAE J1131 (SAE HANDBOOK, 1998), para este caso; logo a característica é do tipo maior é melhor.

Os cálculos da matriz do planejamento do experimento são os mesmos da Figura 9; os cálculos e as priorizações são mostrados na Figura 32. Os resultados permitiram a definição das variáveis de resposta apresentadas no Quadro 8. A importância relativa da variável de resposta é resultante das priorizações realizadas na matriz da qualidade para o projeto de experimentos, ou seja, respectivamente, pesos 2,2 e 1.

Quadro 8 – Variáveis de resposta

Qualidade demandada

Qualidade demandada	Variáveis de resposta	Unidade	Tipo	Imp. relativa	Lim. inf. esp.	Alvo	Lim. sup. esp.
Facilidade de montagem/desmontagem do tubo	Y1 = variação qualitativa da facilidade de montagem/desmontagem	Tabela com notas de 1-9	Maior é melhor	2	3	9	9
Resistência a vazamento em condições de vibração	Y2 = deslocamento do tubo	mm	Menor é melhor	2	0	0	1,2
Resistência à tração	Y3 = força avaliada nos testes de tração	kgf	Maior é melhor	1	150	170	170

O limite superior especificado para o deslocamento do tubo foi definido como no máximo 1,2 mm, referente a 30% do deslocamento permitido de 4 mm (ver Figura 34); o limite superior para a resistência à tração foi definido como 170 kgf, valor ótimo obtido nos testes de resistência da conexão **engate rápido**. O limite inferior da facilidade de montagem/desmontagem foi definido como no mínimo igual ao da conexão **engate rápido** (3).

Especificações		+/- 0,05 mm	+/- 0,1 mm	+/- 0,2 mm	+/- 0,1 mm	+/- 0,1 mm	+/- 0,1 mm	+/- 0,05 mm	+/- 0,05 mm	+/- 0,05 mm
Matriz da Qualidade para o Projeto de Experimentos	Importância da Qualidade Demandada	Diam. do alojamento da pinça (CORPO)	Diam. do alojamento "o"ring (CORPO)	Diam. alojamento tubo (CORPO)	Comp. encaixe da pinça (CORPO)	Prof. aloj. anel "o"ring (CORPO)	Espessura (PINÇA)	Largura do rasgo (PINÇA)	Diam. interno corte (PINÇA)	Diam. externo (PINÇA)
	Ótima resistência à tração	1	9	3	3	5	3	9	9	9
	Ótima resistência a vazamentos em condições de vibração	2	9	5	3	3	3	9	9	9
	Ótima condição de montagem/desmontagem do tubo	2	9	5	3	3	3	9	9	9
	Importância das Características da Qualidade		27	13	9	11	9	27	27	27
	lqj / 10		77,94	39,84	25,98	29,44	25,98	77,94	77,94	77,94
	Análise Competitiva		1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5
	Dificuldade de Atuação		1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5
	lqj*		95,5	56,3	36,7	41,6	36,7	110,2	116,9	116,9

A n á l i s e E s t r a t é g i c a	A n á l i s e C o m p e t i t i v a	P r i o r i z a ç ã o
Ei	Mi	Idi x 10
2,0	1,5	17,32
2,0	1,5	34,64
2,0	1,5	34,64

Figura 32 – Matriz da qualidade para o projeto de experimentos

b) Parâmetros do processo

Os parâmetros do processo neste estudo de caso são as características das partes da pinça e do corpo que foram relacionadas com as características da qualidade demandada pelos clientes, e priorizadas conforme Figura 32.

O Quadro 9 relaciona os parâmetros do processo do corpo e da pinça:

Quadro 9 – Parâmetros do processo

Designação	Intervalo de variação	Unidade
Diâmetro alojamento pinça (corpo)	19,60	mm
Diâmetro alojamento “o” ring (corpo)	23,20	mm
Comprimento encaixe pinça (corpo)	10,50	mm
Prof. Alojamento anel “o” ring (corpo)	21,00	mm
Diâmetro alojamento tubo (corpo)	17,00	mm
Diâmetro interno corte (pinça)	16,20 a 16,30	mm
Diâmetro externo (pinça)	22,10 a 22,20	mm
Largura do rasgo (pinça)	0,95 a 1,05	mm
Espessura (pinça)	0,42 a 0,63	mm

Observação: o comprimento do encaixe da pinça, a profundidade do alojamento do anel “o” ring e o diâmetro do alojamento do tubo não tiveram priorizações relevantes na matriz das características das partes Figura 27, porém, são importantes quando se trata de avaliar a pinça montada no corpo.

c) Fatores controláveis

Os fatores controláveis são as características da pinça que mais influem nas três variáveis de resposta. A largura do rasgo, diâmetro interno de corte, diâmetro externo e espessura foram priorizadas na matriz Figura 32 e necessitam ser pesquisadas, para avaliar que tipo de influência podem ter nas variáveis de resposta. Em estudos realizados com o auxílio do CAD e de algumas peças, verificou-se ser possível uma melhor condição de montagem/desmontagem, porém é necessário investigar o comportamento das alterações em relação a resistência a vazamento em condições de vibração e resistência à tração.

d) Definição dos níveis dos fatores controláveis

No planejamento deste projeto de experimentos foi muito importante o conhecimento do pessoal da engenharia e da produção a respeito do produto e de sua aplicação. Esse conhecimento permitiu definir o intervalo de variação dos fatores controláveis; intervalos de investigação maiores exigiriam maior número de rodadas. A escolha de apenas dois níveis para cada fator controlável foi para reduzir o número de ensaios a serem realizados.

As tolerâncias do processo estão em torno de 0,05 mm, variações acima de 0,1 mm para o diâmetro interno de corte e para o diâmetro externo inviabilizam a condição de montagem (a tolerância dos tubos é de $\pm 0,1$ mm). Para a largura do rasgo, a variação refere-se a um valor comercial da espessura da freza que executa esta operação. A espessura é uma condição de flexibilidade da pinça e está associada aos diâmetros interno e externo do corpo da pinça. O Quadro 10 define os níveis dos fatores controláveis.

Quadro 10 – Definição dos níveis dos fatores controláveis

Fator	Descrição do fator	Nº de níveis	Níveis	Unidade
X1	Diâmetro externo	2	22,10 – 22,20	mm
X2	Diâmetro interno de corte	2	16,20 – 16,30	mm
X3	Largura do rasgo	2	0,95 – 1,05	mm
X4	Espessura	2	0,42 – 0,63	mm

e) Interações entre os fatores controláveis

A engenharia discutiu se os fatores controláveis interagem entre si, ou seja, se o efeito das alterações de um fator depende do nível em que se apresenta o outro fator controlável.

Na opinião da engenharia existe a possibilidade de interação entre todos os fatores, logo decidiu-se por investigar todos os efeitos de interação no experimento.

f) Fatores mantidos constantes

O Quadro 11 apresenta os fatores mantidos constantes no experimento.

Quadro 11 – Fatores controláveis mantidos constantes

Designação	Intervalo de variação	Unidade
Diâmetro alojamento pinça (corpo)	19,60	mm
Diâmetro alojamento “o” ring (corpo)	23,20	mm
Comprimento encaixe pinça (pinça)	10,50	mm
Prof. Alojamento anel “o” ring (corpo)	21,00	mm
Diâmetro alojamento tubo (corpo)	17,00	mm

g) Restrições experimentais

Em função do tempo e do custo foram fabricadas três amostras para cada combinação (tratamento).

h) Definir o modelo estatístico

O modelo utilizado foi do tipo 2^k , mais especificamente um 2^4 , ou seja, quatro fatores controláveis cada um testado em dois níveis, totalizando 16 combinações (tratamento) a serem testadas ($16 \times 3 = 48$ amostras). A Figura 33 ilustra o modelo que foi testado e a identificação das amostras está conforme a Tabela 7.

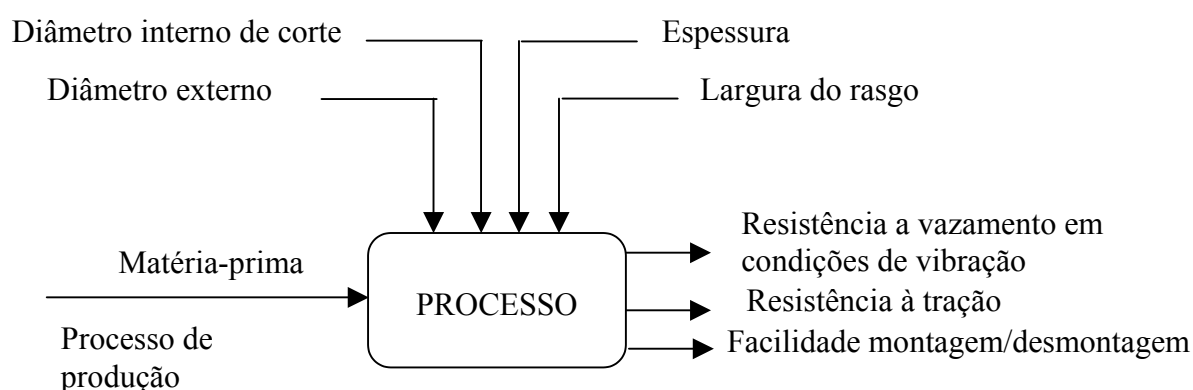


Figura 33 – Figura esquemática do experimento para **conexão proposta**

Adaptado de Montgomery *apud* Werkema & Aguiar, 1996

Tabela 7 – Identificação das amostras

Diâmetro externo		22,1				22,2			
Diâmetro Interno		16,2		16,3		16,2		16,3	
Espessura		0,42	0,63	0,42	0,63	0,42	0,63	0,42	0,63
Largura do Rasgo	0,95	10	09	12	11	14	13	16	15
	1,05	02	01	03	04	06	05	08	07

5.3.3 Planejamento final e execução

O planejamento final consistiu em definir a ordem dos testes, quais os procedimentos a adotar e os critérios para a realização dos testes. A ordem dos ensaios foi definida usando-se aleatorização completa. Os dados foram coletados em planilhas.

A seguir explica-se cada uma das variáveis de resposta e apresenta-se os respectivos resultados obtidos:

5.3.3.1 Facilidade de montagem/desmontagem do tubo.

Este teste foi baseado nas avaliações da facilidade de montagem da **conexão proposta** relativamente à conexão **engate rápido** e nas avaliações da facilidade de desmontagem relativamente à conexão utilizada em circuitos industriais que originou a **conexão proposta**. A avaliação foi feita por três montadores da linha de produção da empresa em todas as amostras, usando o critério, conforme Tabela 8. As anotações foram feitas em planilhas individuais e após transcritas na Tabela 9.

Tabela 8 – Escala de intensidade para facilidade de avaliação de montagem/desmontagem

Nota	Condição
1	Pior
3	Igual
9	Melhor

Tabela 9 – Resultados dos testes de facilidade de montagem/desmontagem

Diâmetro externo		22,1				22,2			
Diâmetro Interno		16,2		16,3		16,2		16,3	
Espessura		0,42	0,63	0,42	0,63	0,42	0,63	0,42	0,63
Largura do Rasgo	0,95	9	9	9	9	3	3	3	1
		9	9	9	9	3	3	3	3
		9	9	9	9	3	3	3	3
	1,05	9	9	3	3	3	1	3	1
		9	3	9	3	3	1	3	1
		9	3	3	3	1	1	1	1

5.3.3.2 Resistência a vazamentos em condições de vibração

O teste realizado para avaliar a resistência a vazamentos de condições de vibração é uma adaptação da norma SAE J1131 (SAE HANDBOOK 1998). Consiste em submeter um conjunto composto por duas conexões montadas nas extremidades de um tubo de 450 mm de comprimento a 1.000.000 de ciclos. A frequência de vibração é de 670 ciclos por minuto; uma extremidade é fixada de maneira a permitir uma vibração referente a um deslocamento de 12,7 mm e a outra extremidade é fixa. A pressão a que é submetido o conjunto do tubo e conexões é de 10 kgf/cm². Ocorrerá vazamento se o deslocamento do tubo for superior a 4 mm, conforme ilustrado na Figura 34. A Figura 35 mostra o equipamento usado para o teste de resistência a vazamento em condições de vibração. Foram montados 24 conjuntos (48 amostras da **conexão proposta**) escolhidas aleatoriamente e identificados. Os resultados dos testes de resistência a vazamento em condições de vibração estão apresentados na Tabela 10.

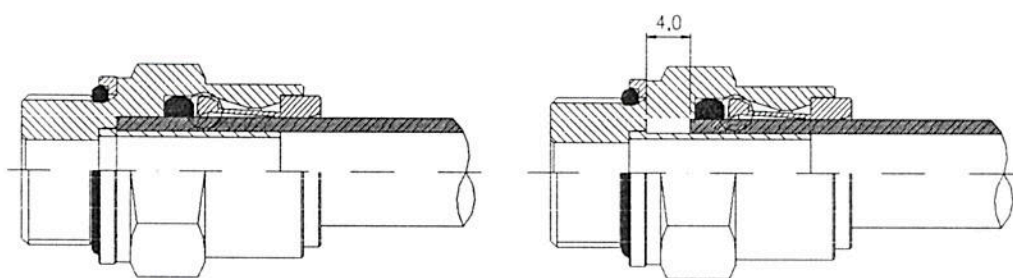


Figura 34 – Deslocamento do tubo

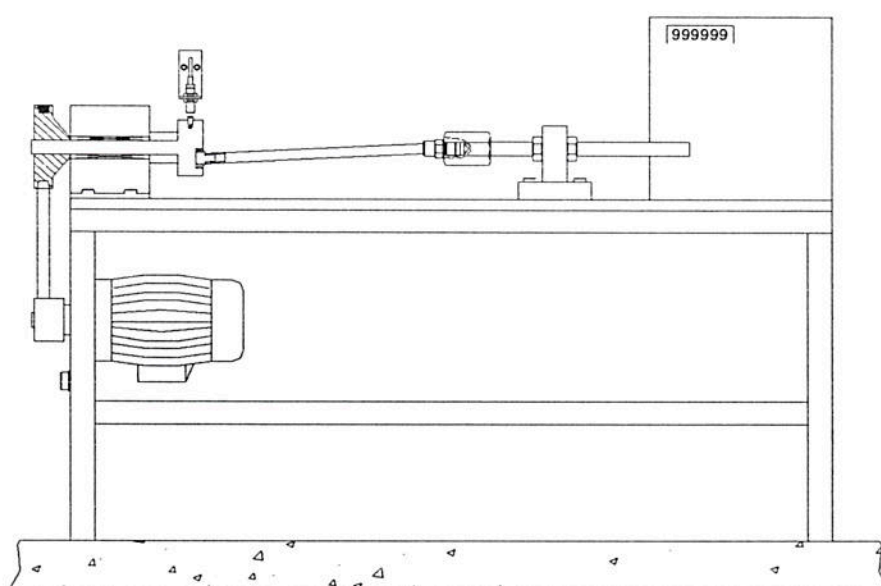


Figura 35 – Equipamento para teste de resistência a vazamentos em condições de vibração

Tabela 10 – Resultados dos testes de resistência a vazamentos em condições de vibração (deslocamento do tubo em mm)

Diâmetro externo		22,1				22,2			
Diâmetro Interno		16,2		16,3		16,2		16,3	
Espessura		0,42	0,63	0,42	0,63	0,42	0,63	0,42	0,63
Largura do Rasgo	0,95	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,0	0,0
		1,6	1,1	1,0	0,8	0,5	0,0	0,5	0,0
		1,0	1,0	1,2	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	1,05	1,2	1,0	1,1	1,3	0,5	0,5	0,0	0,0
		1,0	0,8	1,0	1,5	0,0	0,5	0,0	0,0
		1,0	1,0	1,2	1,3	0,0	0,0	0,5	0,0

5.3.3.3 Resistência à tração

A resistência à tração é um teste realizado em um conjunto composto por um tubo com 150 mm de comprimento, com conexões em cada extremidade. Este teste é realizado em máquina de tração, com velocidade de deslocamento de 25,4 mm/minuto, conforme SAE J1131 (SAE HANDBOOK 1998); a força mínima para este caso é de 150 kgf. Foram fabricadas mais três amostras conforme Tabela 7 de modo a permitir três testes de resistência à tração por amostra. Os resultados dos testes de resistência à tração estão apresentados na Tabela 11. Os testes foram realizados no Centro Tecnológico de Mecânica de Precisão (CETEMP – São Leopoldo).

Tabela 11 – Resultados dos testes de resistência à tração (kgf)

Diâmetro externo		22,1				22,2			
Diâmetro Interno		16,2		16,3		16,2		16,3	
Espessura		0,42	0,63	0,42	0,63	0,42	0,63	0,42	0,63
Largura do Rasgo	0,95	130	140	160	140	200	190	160	200
		130	130	150	150	190	190	170	200
		140	130	160	160	210	200	170	190
	1,05	140	170	150	170	180	160	170	170
		130	150	130	160	150	180	160	160
		120	140	140	150	160	170	170	170

5.3.4 Análise dos resultados dos experimentos

Os resultados do experimento foram analisados utilizando-se as rotinas de Análise de Variância – ANOVA e Regressão Múltipla do *software* SPSS.

A matriz das correlações entre as variáveis de respostas (Tabela 12) identifica uma relação inversamente proporcional da resistência à tração com a facilidade de montagem/desmontagem e com a resistência à vibração, ou seja, os valores altos de resistência à tração estão relacionados a valores baixos de facilidade de montagem/desmontagem e resistência à vibração. Com relação a facilidade de montagem/desmontagem e resistência à vibração, as mesmas são diretamente proporcionais,

ou seja, uma boa condição de montagem/desmontagem está relacionada com valores altos de resistência à vibração.

Tabela 12 - Matriz de correlações entre as variáveis de resposta

	Facilidade de Montagem / Desmontagem	Resistência à Vibração	Resistência à Tração
Facilidade de Montagem / Desmontagem	1	0,62915	-0,62274
Resistência à Vibração		1	-0,52719
Resistência à Tração			1

5.3.4.1 Análise da facilidade de montagem/desmontagem

A seguir apresenta-se a análise de variância para a facilidade de montagem/desmontagem.

Tabela 13: Análise de variância para facilidade de montagem/desmontagem

Fonte de Variação		SQ	QM	Teste F	Signif.
Largura	1	65,333	65,333	37,333	0,000
Diâmetro externo	1	300,000	300,000	171,429	0,000
Diâmetro interno	1	8,333	8,333	4,762	0,037
Espessura	1	16,333	16,333	9,333	0,005
Largura * diâmetro externo	1	16,333	16,333	9,333	0,005
Largura * diâmetro interno	1	5,333	5,333	3,048	0,090
Diâmetro externo * diâmetro interno	1	5,333	5,333	3,048	0,090
Largura * diâmetro externo * diâmetro interno	1	8,333	8,333	4,762	0,037
Largura * espessura	1	12,000	12,000	6,857	0,013
Diâmetro externo * espessura	1	1,333	1,333	0,762	0,389
Largura * diâmetro externo * espessura	1	3,000	3,000	1,714	0,200
Diâmetro interno * espessura	1	0,333	0,333	0,190	0,665
Largura * diâmetro interno * espessura	1	1,333	1,333	0,762	0,389
Diâmetro externo * diâmetro interno * espessura	1	1,333	1,333	0,762	0,389
Largura * diâmetro externo * diâmetro interno * espessura	1	0,333	0,333	0,190	0,665
Erro	32	56,000	1,750		
Total corrigido	47	501,000			

$$R^2 = 0,888 \quad - \quad R^2 \text{ ajustado} = 0,836$$

A seguir apresenta-se a equação da regressão para facilidade de montagem/desmontagem.

Facilidade de Montagem/Desmontagem = $4,75 - 1,167 * \text{Largura} - 2,5 * \text{Diâm. externo} - 0,417 * \text{Diâm. interno} - 0,583 * \text{Espessura} + 0,583 * \text{Largura} * \text{Diâm. externo} - 0,333 * \text{Largura} * \text{Diâm. interno} - 0,5 * \text{Largura} * \text{Espessura} + 0,333 * \text{Diâm. externo} * \text{Diâm. interno} + 0,417 * \text{Largura} * \text{Diâm. externo} * \text{Diâm. interno}$.

R Coef. de correlação	R ² Cof. de determinação	R ² Coef. de determinação ajustado	Erro padrão da estimativa
,934	,873	,836	1,2944

Através da análise de variância, observa-se que há diferença significativa entre os corpos de prova, quando observada a facilidade de montagem/desmontagem. Para identificar o ajuste ótimo para facilidade de montagem/desmontagem deve-se analisar os gráficos dos fatores significativos, conforme Figuras 36, 37, 38, 39, 40, 41 e 42.

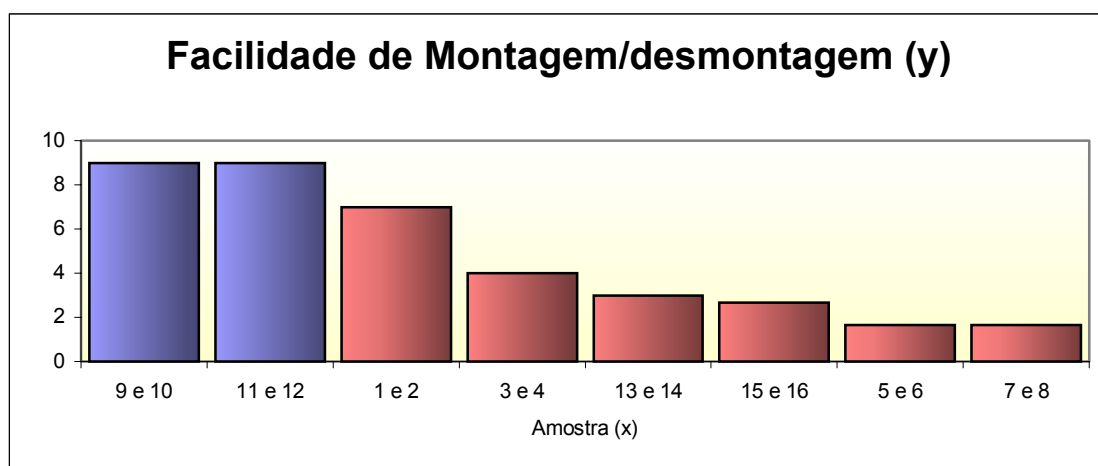


Figura 36 – Pareto para Facilidade de Montagem/Desmontagem

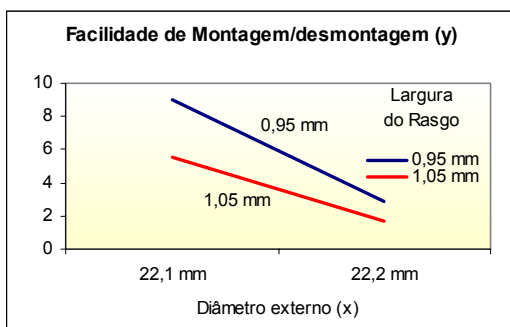


Figura 37 – Facilidade de mont./desmontagem x diâmetro externo x largura do rasgo

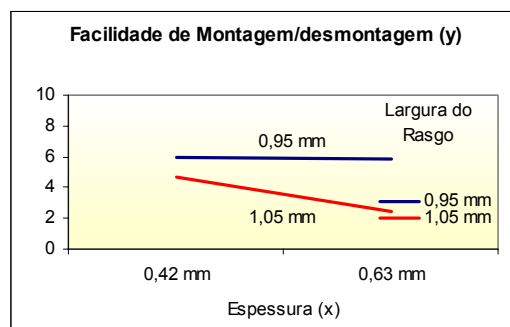


Figura 38 – Facilidade de mont./desmontagem x espessura x largura do rasgo

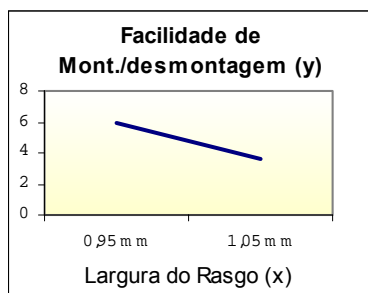


Figura 39 – Facilidade de mont./desmontagem x largura do rasgo

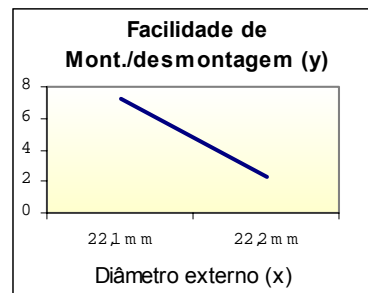


Figura 40 – Facilidade de mont./desmontagem x diâmetro externo

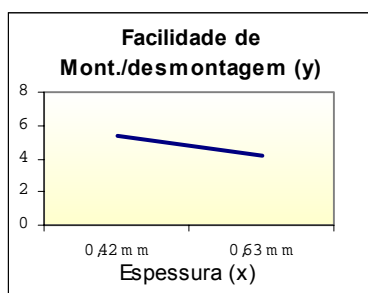


Figura 41 – Facilidade de mont./desmontagem x espessura

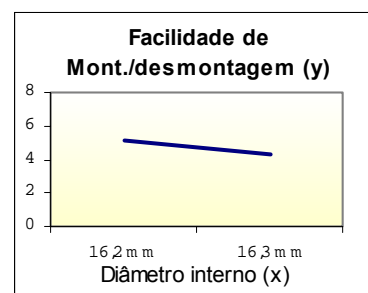


Figura 42 – Facilidade de mont./desmontagem x diâmetro interno

As amostras 9, 10, 11 e 12 (Figura 36) foram as que apresentaram as melhores condições de montagem/desmontagem. No entanto, a resistência à tração ficou aproximadamente em 150 kgf (mínimo exigido) e o deslocamento ficou em torno de 1,0 mm para o teste de resistência a vazamentos em condições de vibração. A facilidade de montagem/desmontagem para otimização final participa com peso relativo igual a 2, e outras alternativas devem ser sugeridas no projeto preliminar, para melhorar a resistência à tração e resistência a vazamentos em condições de vibração e manter uma facilidade de montagem/desmontagem similar às amostras 9, 10, 11 e 12. Uma primeira sugestão em relação a resistência a vazamento em condições de vibração seria aumentar a profundidade do alojamento do tubo no corpo da conexão, para compensar este deslocamento.

Analisando-se os gráficos de facilidade de montagem/desmontagem verifica-se que:

Figura 37 – Facilidade mont./desmontagem x diâmetro externo x largura do rasgo: A condição de montagem/desmontagem melhora para o diâmetro externo de 22,1 mm e largura do rasgo de 0,95 mm;

Figura 38 – Facilidade mont./desmontagem x espessura x largura do rasgo: A facilidade de montagem/desmontagem não depende da espessura quando a largura do rasgo é 0,95 mm;

Figura 39 – Facilidade mont./desmontagem x largura do rasgo: A facilidade de montagem/desmontagem é melhor para largura do rasgo de 0,95 mm;

Figura 40 – Facilidade mont./desmontagem x diâmetro externo: A facilidade de montagem/desmontagem é melhor para diâmetro externo de 22,1 mm;

Figura 41 – Facilidade mont./desmontagem x espessura: A facilidade de montagem/desmontagem melhora para espessura de 0,42 mm;

Figura 42 – Facilidade mont./desmontagem x diâmetro interno: A facilidade de montagem/desmontagem melhora para diâmetro interno de 16,2 mm.

5.3.4.2 Análise da resistência a vazamento em condições de vibração

A seguir apresenta-se a análise de variância para resistência a vazamento em condições de vibração.

Tabela 14: Análise de variância para resistência a vazamento em condições de vibração

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Signif.
Largura	1	0,013	0,013	0,305	*0,585
Diâmetro externo	1	8,841	8,841	202,076	0,000
Diâmetro interno	1	0,163	0,163	3,733	0,062
Espessura	1	0,187	0,187	4,286	0,047
Largura * diâmetro externo	1	0,101	0,101	2,305	0,139
Largura * diâmetro interno	1	0,270	0,270	6,171	0,018
Diâmetro externo * diâmetro interno	1	0,368	0,368	8,400	0,007
Largura * diâmetro externo * diâmetro interno	1	0,008	0,008	0,171	0,682
Largura * espessura	1	0,301	0,301	6,876	0,013
Diâmetro externo * espessura	1	0,083	0,083	1,905	0,177
Largura * diâmetro externo * espessura	1	0,030	0,030	0,686	0,414
Diâmetro interno * espessura	1	0,068	0,068	1,543	0,223
Largura * diâmetro interno * espessura	1	0,041	0,041	0,933	0,341
Diâmetro externo * diâmetro interno * espessura	1	0,013	0,013	0,305	0,585
Largura * diâmetro externo * diâmetro interno * espessura	1	0,270	0,270	6,171	0,018
Erro	32	1,400	0,044		
Total corrigido	47	12,157			

$$R^2 = 0,885 - R^2 \text{ ajustado} = 0,831$$

A seguir apresenta-se a equação da regressão para resistência a vazamentos em condições de vibração:

$$\text{Vibração} = 0,658 - 0,429 * \text{Diâm. externo} - 0,058 * \text{Diâm. interno} - 0,063 * \text{Espessura} + 0,075 \text{ Largura} * \text{Diâm. interno} + 0,079 \text{ Largura} * \text{Espessura} - 0,088 * \text{Diâm. externo} * \text{Diâm. interno} - 0,075 * \text{Largura} * \text{Diâm. externo} * \text{Diâm. interno} * \text{Espessura}.$$

R Coef. de correlação	R ² Cof. de determinação	R ² Coef. de determinação ajustado	Erro padrão da estimativa
,925	,855	,830	,210

O efeito principal da largura do rasgo não foi significativo, ou seja, alterações na largura do rasgo não influenciam no resultado da resistência a vazamento em condições de vibração. Para se identificar o ajuste ótimo para resistência a vazamentos em condições de vibração, deve-se analisar os gráficos de dos fatores significativos conforme Figuras 43, 44, 45, 46, 47, 48 e 49.

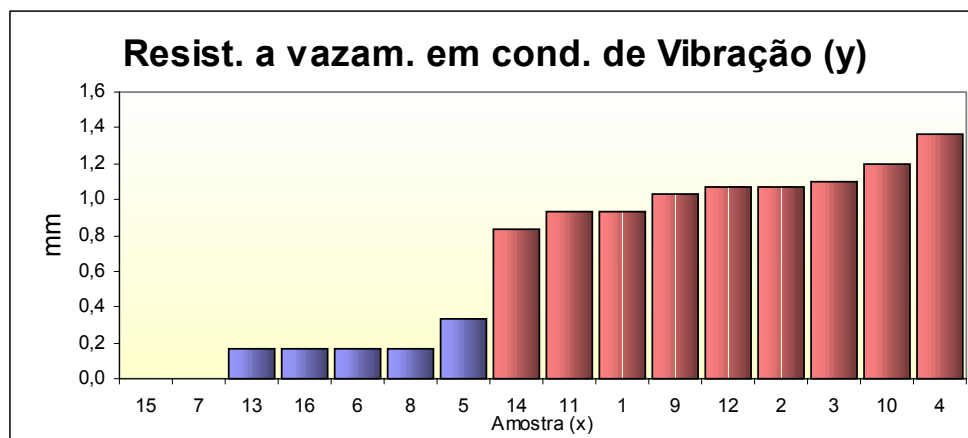


Figura 43 – Pareto Resistência a Vazamentos em Condições de Vibração

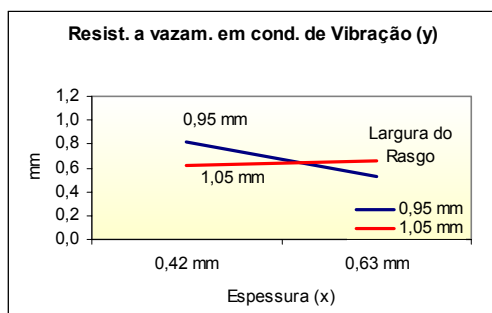


Figura 44 – Vibração x espessura x largura do rasgo

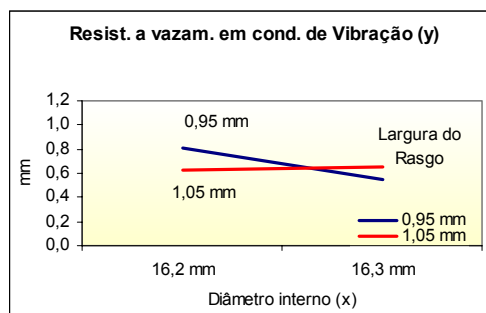


Figura 45 – Vibração x diâmetro interno x largura do rasgo

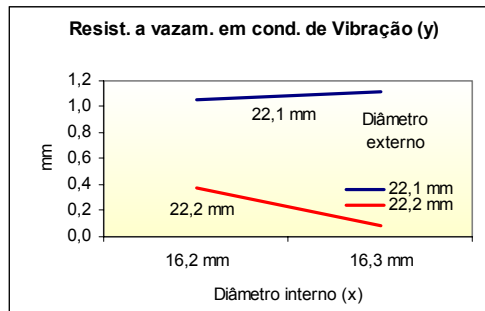


Figura 46 – Vibração x diâmetro interno x diâmetro externo

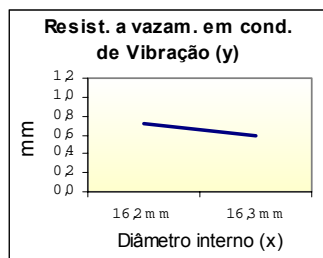


Figura 47 – Vibração x diâmetro interno

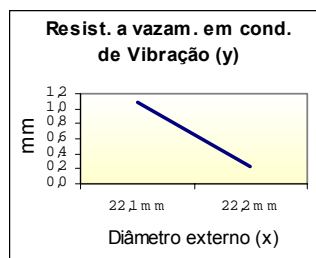


Figura 48 – Vibração x diâmetro externo

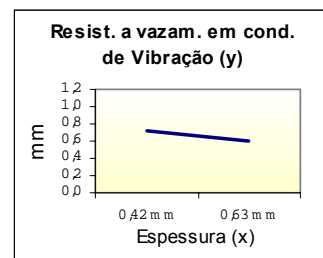


Figura 49 – Vibração x espessura

As melhores condições em relação a resistência a vazamento em condições de vibração estão nas amostras 7 e 15, ou seja, as que não apresentaram deslocamento do tubo. As amostras 7 e 15 apresentaram, respectivamente, notas 1 e 2,33 nos testes de facilidade de montagem/desmontagem. Estas notas representam facilidade de montagem/desmontagem inferior a conexão engate rápido. As mesmas amostras 7 e 15 apresentaram, respectivamente, médias de 166,66 kgf e 196,66 kgf ambas superiores ao mínimo exigido (150 kgf).

Analisando-se os gráficos de resistência à vazamento em condições de vibração verifica-se que:

Figura 44 – Resistência a vazamentos em condições de vibração x espessura x largura do rasgo: A melhor resistência a vazamentos em condições de vibração para espessura de 0,63 mm é com largura do rasgo de 0,95 mm;

Figura 45 – Resistência a vazamentos em condições de vibração x diâmetro interno x largura do rasgo: A melhor resistência a vazamentos em condições de vibração para o diâmetro interno de 16,3 mm é com largura do rasgo de 0,95 mm;

Figura 46 – Resistência a vazamentos em condições de vibração x diâmetro interno x diâmetro externo: A resistência a vazamentos em condições de vibração não depende do diâmetro interno quando o diâmetro externo é de 22,1 mm;

Figura 47 – Resistência a vazamentos em condições de vibração x diâmetro interno: A resistência a vazamentos em condições de vibração melhora para um diâmetro interno de 16,3 mm;

Figura 48 – Resistência a vazamentos em condições de vibração x diâmetro externo: A resistência a vazamentos em condições de vibração melhora para um diâmetro externo de 22,2 mm;

Figura 49 – Resistência a vazamentos em condições de vibração x espessura: A resistência a vazamentos em condições de vibração melhora para uma espessura de 0,63 mm.

5.3.4.3 Análise da resistência à tração

A seguir apresenta-se a análise de variância para resistência à tração.

Tabela 15: Análise de variância para resistência à tração

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Teste F	Signif.
Largura	1	1200,000	1200,000	14,400	0,001
Diâmetro externo	1	13333,333	13333,333	160,000	0,000
Diâmetro interno	1	133,333	133,333	1,600	* 0,215
Espessura	1	833,333	833,333	10,000	0,003
Largura * diâmetro externo	1	1875,000	1875,000	22,500	0,000
Largura * diâmetro interno	1	8,333	8,333	0,100	0,754
Diâmetro externo * diâmetro interno	1	1408,333	1408,333	16,900	0,000
Largura * diâmetro externo * diâmetro interno	1	533,333	533,333	6,400	0,017
Largura * espessura	1	208,333	208,333	2,500	0,124
Diâmetro externo * espessura	1	8,333	8,333	0,100	0,754
Largura * diâmetro externo * espessura	1	833,333	833,333	10,000	0,003
Diâmetro interno * espessura	1	75,000	75,000	0,900	0,350
Largura * diâmetro interno * espessura	1	300,000	300,000	3,600	0,067
Diâmetro externo * diâmetro interno * espessura	1	300,000	300,000	3,600	0,067
Largura * diâmetro externo * diâmetro interno * espessura	1	408,333	408,333	4,900	0,034
Erro	32	2666,667	83,333		
Total corrigido	47	24125,000			

$$R^2 = 0,889 \quad - \quad R^2 \text{ ajustado} = 0,838$$

A seguir apresenta-se a equação da regressão para a resistência à tração:

Tração = 161,25 - 5,00 * Largura + 16,6667 * Diâm. externo + 4,1667 * Espessura - 6,25 * Largura * Diâm. externo - 5,4167 * Diâm. externo * Diâm. interno + 3,3333 * Largura * Diâm. externo * Diâm. interno - 4,1667 * Largura * Diâm. externo * Espessura - 2,5 * Largura * Diâm. interno * Espessura + 2,50 * Diâm. externo * Diâm. interno * Espessura - 2,9167 * Largura * Diâm. externo * Diâm. interno * Espessura.

R Coef. de correlação	R ² Cof. de determinação	R ² Coef. de determinação ajustado	Erro padrão da estimativa
,934	,872	,837	9,1533

O efeito principal do diâmetro interno não foi significativo. Para se identificar o ajuste ótimo para resistência à tração, deve-se analisar os gráficos dos fatores significativos, conforme Figuras 50, 51, 52, 53, 54 e 55.

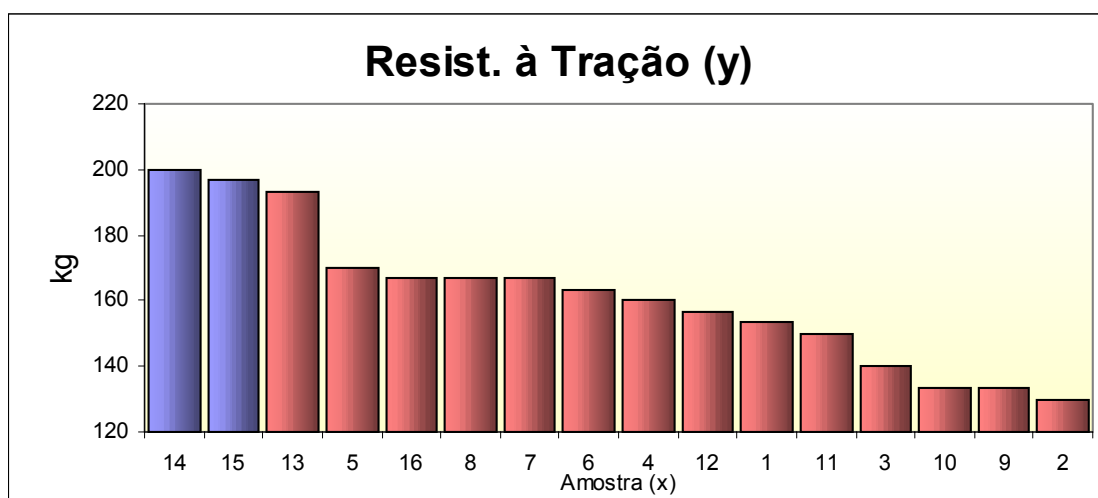


Figura 50 – Pareto de Resistência à Tração

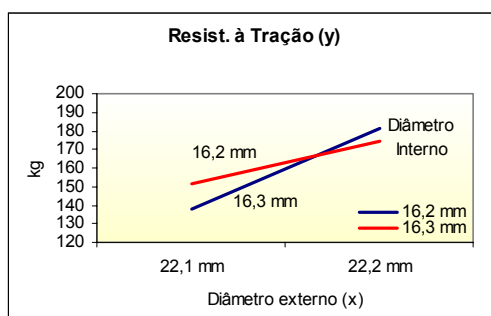


Figura 51 –
Resistência à tração x diâmetro externo
x diâmetro interno

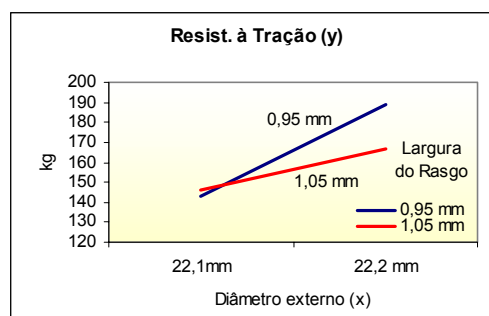


Figura 52 –
Resistência à tração x diâmetro externo
x largura do rasgo

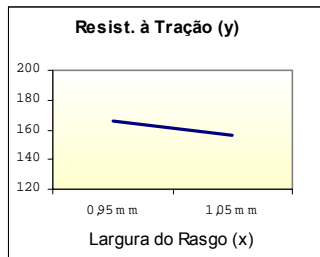


Figura 53 – Resistência à tração x largura do rasgo

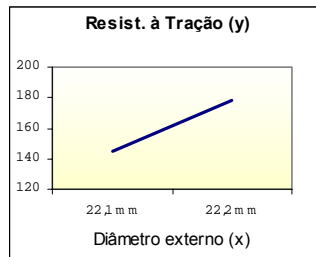


Figura 54 – Resistência à tração x diâmetro externo

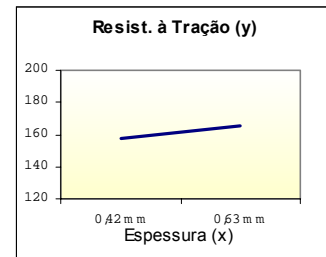


Figura 55 – Resistência à tração x espessura

As amostras 14, 15 e 13 (Figura 50) não apresentaram diferenças significativas no teste de tração e diferem-se das demais. A amostra 15 apresentou a melhor resistência a vazamento em condição de vibração; no entanto, a sua condição de facilidade de montagem/desmontagem não é satisfatória (Figura 36). As amostras 13 e 14 não tiveram um bom desempenho nos testes de resistência a vazamento em condições de vibração (Figura 43) e de facilidade de montagem/desmontagem (Figura 36).

Analisando-se os gráficos de resistência à tração verificou-se que:

Figura 51 – Resistência à tração x diâmetro externo x diâmetro interno: A resistência à tração melhora para o diâmetro interno de corte de 16,2 mm ou 16,3 mm, desde que o diâmetro externo seja de 22,2 mm;

Figura 52 – Resistência à tração x diâmetro externo x largura do rasgo: A resistência à tração melhora para um diâmetro externo de 22,2 mm e largura do rasgo de 0,9 mm;

Figura 53 – Resistência à tração x largura do rasgo: A resistência à tração melhora com a largura do rasgo de 0,95 mm;

Figura 54 – Resistência à tração x diâmetro externo: A resistência à tração melhora com o diâmetro externo de 22,2 mm;

Figura 55 – Resistência à tração x espessura: A resistência à tração depende fracamente da espessura, sendo que ela melhora para espessura de 0,42 mm.

5.3.5 Otimização global

A otimização global deste projeto de experimentos deve contemplar as três variáveis de resposta simultaneamente, ou seja, facilidade de montagem/desmontagem, resistência a vazamento em condições de vibração e resistência à tração.

Inicialmente, realizou-se a otimização individual de cada uma das variáveis de resposta.

As amostras 9, 10, 11 e 12 apresentaram resultados para facilidade de montagem/desmontagem iguais ao alvo, ou seja, 9. As combinações possíveis dos fatores controláveis está apresentada no Quadro 12.

Quadro 12 – Otimização individual para facilidade de montagem/desmontagem

Facilidade de montagem/desmontagem – Alvo = 9 (avaliação Tabela 8)					
Nº amostra	Diâm. externo (mm)	Diâm. interno (mm)	Espessura (mm)	Largura do rasgo (mm)	Facilidade de montagem / desmontagem
9	22,1	16,2	0,63	0,95	9
10	22,1	16,2	0,42	0,95	9
11	22,1	16,3	0,63	0,95	9
12	22,1	16,3	0,42	0,95	9

As amostras 7 e 15 apresentaram os melhores resultados para a resistência a vazamentos em condições de vibração, ou seja, próximos ao alvo, ou seja, nenhum deslocamento do tubo. As combinações possíveis dos fatores controláveis está apresentada no Quadro 13.

Quadro 13 – Otimização individual para resistência a vazamentos em condições de vibração

Resistência a vazamentos em condições de vibração – Alvo = 0 (deslocamento tubo mm)					
Nº amostra	Diâm. externo (mm)	Diâm. interno (mm)	Espessura (mm)	Largura do rasgo (mm)	Deslocamento do tubo (mm)
7	22,2	16,3	0,63	1,05	0
15	22,2	16,3	0,42	0,95	0

As amostras 13, 14 e 15 apresentaram os melhores resultados para resistência à tração, ou seja, próximos ao alvo que é de 170 kgf. As combinações possíveis dos fatores controláveis está apresentada no Quadro 14.

Quadro 14 – Otimização individual para resistência à tração

Resistência à tração – Alvo = 170 kgf					
Nº amostra	Diâm. externo (mm)	Diâm. interno (mm)	Espessura (mm)	Largura do rasgo (mm)	Resistência à tração
13	22,2	16,2	0,63	0,95	193
14	22,2	16,2	0,42	0,95	200
15	22,2	16,3	0,63	0,95	196

As seguintes observações são relevantes:

- a facilidade de montagem/desmontagem tem a sua melhor condição em relação a conexão **engate rápido** com diâmetro externo de 22,1 mm e largura do rasgo 0,95 mm (não depende do diâmetro interno e da espessura);
- a resistência a vazamento em condições de vibração tem a sua melhor condição com diâmetro externo em 22,2 mm, o diâmetro interno em 16,2 mm e a espessura em 0,63 mm (não depende da largura do rasgo);
- a resistência à tração tem sua melhor condição com diâmetro externo 22,2 mm e largura do rasgo de 0,95 mm (não depende do diâmetro interno e da espessura).

Uma vez identificados os ajustes ótimos individuais, é necessário definir uma função objetivo que permita otimizar simultaneamente todas as variáveis de resposta analisadas anteriormente. Esta otimização global implica numa solução conciliatória que pondere as importâncias relativas de cada variável de resposta sobre o produto final (Caten, 1995).

A ponderação é realizada utilizando-se os pesos de cada variável de resposta provenientes da matriz do planejamento do experimento. Os pesos, além de considerar a importância relativa de cada variável de resposta, possuem a função de normalizar os desvios do alvo, para que os desvios de todas as variáveis possam ser diretamente

comparáveis entre si. O formulário para cálculo dos pesos é apresentado nas equações 12, 13 e 14.

Segundo Ribeiro e Caten (1996), em estudos de melhoria da qualidade, é desejável que o ajuste ótimo dos fatores controláveis seja determinado considerando que as variáveis de resposta fiquem o mais próximo possível do seu valor alvo com a menor variabilidade em torno desse valor. Reduzir a variabilidade em torno do valor alvo significa dizer que o produto será robusto, ou seja, terá um bom desempenho mesmo quando submetido a condições adversas do meio.

A otimização global do processo deve otimizar as múltiplas variáveis de resposta com seus respectivos pesos, em relação a esses dois objetivos citados anteriormente. Ela pode ser realizada utilizando-se a função de perda quadrática multivariada:

$$\hat{Z}(i) = \sum_{j=1}^J w_j \left[\left(\hat{Y}_j - T_j \right)^2 + \hat{\sigma}_{Y_j}^2 \right] \quad \text{eq. 11}$$

onde:

$\hat{Z}(i)$ é o valor que a função perda ‘Z’ assume para um dado ajuste ‘i’ do conjunto de fatores controláveis;

w_j é a ponderação ou os pesos atribuídos a cada variável de resposta ‘j’;

T_j é o valor alvo para a variável de resposta ‘j’;

\hat{Y}_j é a equação de regressão que fornece uma estimativa da média da variável de resposta ‘j’ em função do ajuste dos fatores controláveis;

$\hat{\sigma}_{Y_j}$ é a equação de regressão que fornece uma estimativa do desvio padrão da variável de resposta ‘j’ em função do ajuste dos fatores controláveis.

O objetivo de reduzir a distância da variável de resposta do seu valor alvo é contemplado pela seguinte fórmula:

$$\left[\left(\hat{Y}_j - T_j \right)^2 \right] \text{ eq. 9}$$

O objetivo de reduzir a variabilidade das características de qualidade devido aos fatores de ruído (temperatura, umidade, etc.) é contemplado pela fórmula do desvio-padrão:

$$\left[\hat{\sigma}_{Y_j}^2 \right] \text{ eq. 10}$$

O peso w é calculado pelas seguintes fórmulas, conforme o tipo de variável de resposta:

Para variáveis de resposta do tipo maior-é-melhor: (LI = limite inferior)

$$w = \frac{\text{Imp. rel.}}{(\text{Alvo} - \text{LI})^2} \text{ eq. 12}$$

Para variáveis de resposta do tipo menor-é-melhor: (LS = limite superior)

$$w = \frac{\text{Imp. rel.}}{(\text{LS} - \text{Alvo})^2} \text{ eq. 13}$$

Para variáveis de resposta do tipo nominal-é-melhor:

$$w = \frac{\text{Imp. rel.}}{((\text{LS} - \text{LI})/2)^2} \text{ eq. 14}$$

O objetivo da otimização global é encontrar o ajuste dos fatores controláveis que minimiza a função perda, ou seja, o ajuste que melhor satisfaz o conjunto das variáveis de resposta simultaneamente (Ribeiro, Fogliatto e Caten, 2000).

No experimento da **conexão proposta**, a otimização global foi realizada considerando apenas a primeira parcela da função de perda multivariada referente a perda devida a distância da variável de resposta do seu valor alvo. Os níveis dos fatores controláveis usados na função de perda estão apresentados no Quadro 10, as variáveis de resposta no Quadro 8 e as equações de regressão que modelam as variáveis de resposta em função dos fatores controláveis estão apresentadas nas análises individuais.

A função de perda quadrática multivariada indicou a amostra nº 11 (ver anexo 2) como o ajuste ótimo global (aquele que apresentou o menor valor de perda). Os níveis dos fatores controláveis da amostra nº 11 foram: diâmetro externo de 22,1 mm, diâmetro interno de 16,2 mm, espessura de 0,63 mm e largura do rasgo de 0,95 mm. Os valores previstos para as variáveis de resposta referente a esse ajuste ótimo foram: facilidade de montagem/desmontagem igual a nota 9; resistência a vazamento em condições de vibração medido pelo deslocamento do tubo igual 0,80mm; resistência à tração igual a 150 kgf.

A partir destes dados foram executadas algumas alterações no projeto preliminar para melhorar ainda mais a resistência a vazamento em condições de vibração e resistência à tração. As alterações foram o aumento da profundidade do alojamento do tubo no corpo e do comprimento do inserto; isto significa um maior apoio do tubo no corpo da conexão e uma maior sustentação do tubo.

Foram executadas seis novas amostras com a profundidade do alojamento do tubo de 21,5 mm e com o comprimento do inserto de 32,8 mm para a realização dos testes de resistência a vazamentos em condições de vibração e de resistência à tração; os resultados estão apresentados no Quadro 15.

Quadro 15 – Resultados dos testes de resistência a vazamento em condições de vibração, resistência à tração e facilidade de montagem/desmontagem

Amostras	Resistência da vazamento em condições de vibração (deslocamento mm)	Resistência à Tração (kgf)	Facilidade de montagem/desmontagem
Conjunto tubo montado com amostras 1 e 2	Zero	165	9
Conjunto tubo montado com amostras 3 e 4	Zero	160	9
Conjunto tubo montado com amostras 5 e 6	Zero	170	9

Como verificou-se nos testes adicionais, a resistência a vazamento em condições de vibração chegou a zero (valor alvo), a resistência à tração ficou um torno de 165 kgf (muito próximo do valor alvo de 170 kgf) e a facilidade de montagem/desmontagem igual a 9, ou seja, melhor que a conexão **engate rápido**.

Os resultados obtidos com a otimização global e a realização de novos testes conforme Quadro 15 permitiram a reavaliação do projeto preliminar e a definição dos fatores controláveis (características das partes) conforme Quadro 16 apresentado nas Figuras 56, 57 e 58.

Quadro 16 – Definição dos fatores controláveis

Descrição do fator	Medida definitiva	Unidade
Diâmetro externo da pinça	22,1	mm
Diâmetro interno de corte da pinça	16,3	mm
Largura do rasgo da pinça	0,95	mm
Espessura da pinça	0,63	mm
Profundidade do alojamento corpo	21,5	mm
Comprimento do inserto	32,8	mm

Este projeto de experimentos foi realizado para um tubo de diâmetro externo 16 mm. O ajuste ótimo, ou seja, os mesmos critérios dimensionais, foram testados nas bitolas de diâmetros 8,0 mm, 10,0 mm e 12,0 mm que completam a família de produtos. Os resultados desses testes satisfizeram as exigências de projeto (facilidade de montagem/desmontagem, resistência a vazamentos em condições de vibração e resistência à tração).

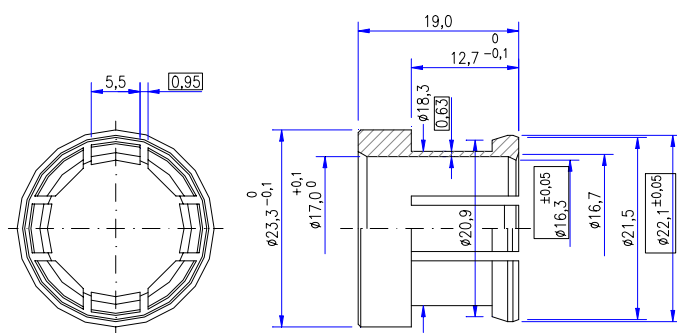


Figura 56 – Projeto definitivo pinça

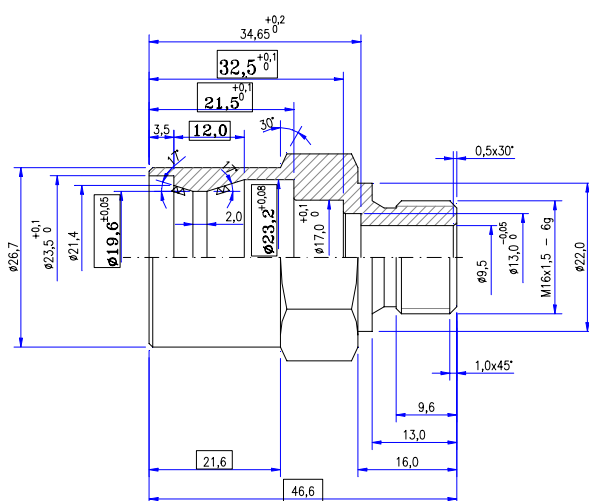


Figura 57 – Projeto definitivo corpo

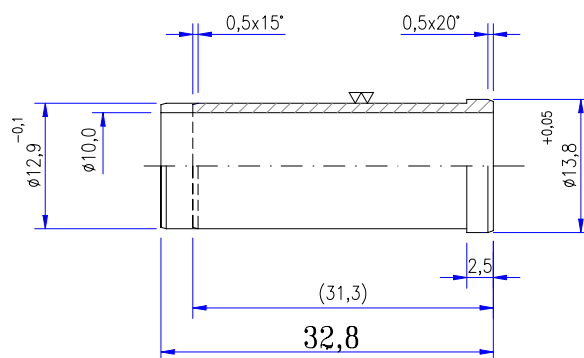


Figura 58 – Projeto definitivo inserto

6 DEFINIÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO E ANÁLISE CRÍTICA, FABRICAÇÃO DO LOTE PILOTO, VALIDAÇÃO DO PRODUTO E LIBERAÇÃO PARA A PRODUÇÃO

Este capítulo trata da definição do processo de fabricação e análise crítica no item 6.1, a fabricação do lote piloto e validação do produto no item 6.2 e liberação para a produção no item 6.3.

6.1 Definição do processo de fabricação e análise crítica

O processo de fabricação da **conexão proposta** é similar a conexão **engate rápido** atualmente utilizada. Existem alterações devido a eliminação da porca (**engate rápido**) e da rosca externa no corpo da **conexão proposta**. A Tabela 16 mostra a relação de máquinas e prováveis produções nas principais operações do processo produtivo para a **conexão proposta**. As denominações são as que foram usadas no chão de fábrica e que também devem ser utilizadas em vendas.

Tabela 16 – Dados de produção para a **conexão proposta**

Denominação	Referência	Máquinas e produção horária
Pinça Brake 8	PB 8	TA 25 – 280/FUR – 400
Pinça Brake 10	PB 10	TA 25 – 250/FUR – 250
Pinça Brake 12	PB 12	TA 25 – 200/FUR – 250
Pinça Brake 16	PB 16	TA 25 – 150/FUR – 250
Insert Brake 8	IB 8	TA 25 – 230
Insert Brake 10	IB 10	TA 25 – 230
Insert Brake 12	IB 12	TA 25 – 230
Insert Brake 16	IB 16	TA 25 – 230
União macho Brake 8 x M16	UMB 8 x M16	TB 42 – 120/LAM – 1200
União macho Brake 8 x M22	UMB 8 x M22	TB 42 – 120/LAM – 1200
União macho Brake 10 x M16	UMB 10 x M16	TB 42 – 120/LAM – 1200
União macho Brake 10 x M22	UMB 10 x M22	TB 42 – 120/LAM – 1200
União macho Brake 12 x M16	UMB 12 x M16	TB 42 – 120/LAM – 1200
União macho Brake 12 x M22	UMB 12 x M22	TB 42 – 120/LAM – 1200
União macho Brake 16 x M16	UMB 16 x M16	TB 42 – 120/LAM – 1200
União macho Brake 16 x M22	UMB 16 x M22	TB 42 – 120/LAM – 1200
Joelho giratório Brake 8 x M16	JGB 8 x M16	Transf – 160/TR – 50
Joelho giratório Brake 10 x M16	JGB 10 x M16	Transf – 160/TR – 50
Tee reto giratório Brake 8 x M16	TRGB 8 x M16	Transf – 160/TR – 25
Tee reto giratório Brake 10 x M16	TRGB 10 x M16	Transf – 160/TR – 25
Tee igual Brake 8	TIB 8	TR – 20
Tee igual Brake 10	TIB 10	TR – 20
Tee giratório Brake 16 x M16	TGB 16 x M16	Transf – 160/TR – 25

As operações de montagem, forja, limpeza e escareação seguem a mesma seqüência das conexões de **engate rápido**.

Para a análise crítica deste projeto de desenvolvimento da **conexão proposta** para circuitos de freio a ar, considerou-se nesta fase principalmente o fator custo, uma vez que as condições de *performance* da norma SAE J1131 foram satisfeitas. É necessário portanto que se faça a comparação dos custos da **conexão proposta** com a conexão **engate rápido**, usando como parâmetro um *kit* padrão constituído de conexões e válvulas montadas que é o mais comumente usado. A Tabela 17 relaciona os custos individuais dos dois sistemas de conexões.

Tabela 17 – Custos individuais dos dois sistemas de conexões

Conexão proposta	Custo	Engate rápido	Custo
UMB 8 x M16	R\$ 1,2389	UMP 8 x M16	R\$ 2,1259
UMB 8 x M22	R\$ 1,8596	UMP 8 x M22	R\$ 3,9658
UMB 10 x M16	R\$ 1,4977	UMP 10 x M16	R\$ 2,1566
UMB 10 x M22	R\$ 1,9657	UMP 10 x M22	R\$ 2,6709
UMB 12 x M16	R\$ 1,8049	UMP 12 x M16	R\$ 3,0225
UMB 12 x M22	R\$ 2,1994	UMP 12 x M22	R\$ 3,4419
UMB 16 x M16	R\$ 2,5432	UMP 16 x M16	R\$ 2,9927
UMB 16 x M22	R\$ 2,6449	UMP 16 x M22	R\$ 3,4303
JGB 8 x M16	R\$ 2,2436	JOP 8 x M16	R\$ 2,5954
JGB 10 x M16	R\$ 2,4474	JOP 10 x M16	R\$ 2,7166
TRGB 10 x M16	R\$ 3,3858	TROP 10 x M16	R\$ 4,1563
TGB 16 x M16	R\$ 3,9523	TOP 16 x M16	R\$ 4,5117

O *kit* padrão é composto pelas seguintes peças:

- 7 UMB 10 x M16;
- 2 UMB 10 x M22;
- 5 UMB 16 x M16;
- 3 JGB 10 x M16; (1)
- 2 TRGB 10 x M16; (1)
- 1 TGB 16 x M16. (1)

Estes custos calculados e tabulados para os dois sistemas de conexões apresentaram o seguinte resultado:

- **Kit engate rápido** = R\$ 59,0325
- **Kit conexão proposta** = R\$ 47,16402

A diferença apresentada significa 25,16% a favor do *kit* **conexão proposta**. Para uma produção em torno de 10.000 *kits* representa uma redução de R\$ 118.700,00. É importante salientar que os itens mencionados acima (1) não foram considerados já como desenhos próprios para o produto final, isto é, o custo foi calculado a partir de forjados que pudessem ser adaptados. Com certeza quando executadas ferramentas próprias de forja a diferença de custo tende a aumentar. Uma outra consideração, é o fato que, para o cálculo de custo de montagem, levou-se em conta os mesmos tempos da conexão **engate rápido**. Estes tempos serão bem menores quando a **conexão proposta** entrar em processo de fabricação.

6.2 Fabricação do lote piloto

Para a execução do lote piloto foram fabricados 50 *kits* da **conexão proposta**. Os desenhos utilizados no processo produtivo foram impressos na cor azul. Este procedimento além de diferenciar dos desenhos normalmente usados na produção (cor branca) tem a finalidade de permitir que sejam feitas alterações pertinentes ao processo de comum acordo com o pessoal da engenharia.

As emissões de ordem de fabricação foram obrigatórias, uma vez que nelas constam por exemplo, as relações das cotas de segurança a serem verificadas durante a produção.

6.3 Validação do produto e liberação para a produção

A partir deste lote piloto foram retiradas aleatoriamente dez amostras de conexões para cada bitola de tubo e realizados os mesmos testes de *performance* da norma SAE J1131. A confirmação dos testes permitiu iniciar o procedimento de liberação para a produção da **conexão proposta**.

Para planejar o processo de montagem do conjunto, a engenharia e a produção analisaram as possíveis falhas que poderiam ocorrer durante o uso da **conexão proposta** pelos clientes, utilizando uma Análise da Árvore de Falhas, (*Failure Tree Analysis* FTA). Este procedimento tem o objetivo de garantir o sucesso do projeto.

Em 1961, H.A. Watson do *Bell Telephones Laboratories*, a fim de avaliar o grau de segurança do sistema de controle de lançamentos dos mísseis *minuteman*, originou o conceito da FTA. Segundo Helman & Andery (1995), a FTA é uma técnica utilizada para estudo de falhas potenciais de um sistema. Fornece uma base objetiva para analisar projetos do sistema, justificar mudanças e demonstrar atendimento a requisitos de segurança. Consiste ainda em entender o sistema onde será aplicado o método e construir um diagrama com a percepção ou previsão de uma falha.

A FTA auxilia a identificar dedutivamente as falhas de um sistema, assinalar os aspectos mais relevantes em relação a uma determinada falha e fornecer, a quem analisa, maior compreensão de como se comporta o sistema. É necessário, ainda, um grande volume de informações e conhecimentos de funcionamento do produto ou processo a ser analisado. É um diagrama lógico, onde são representadas as combinações de falhas de componente que afetam os subsistemas, resultando em determinado tipo de falha do sistema como um todo. A ocorrência de um estado indesejado do sistema é o que se chama de evento de topo.

A FTA visa melhorar a confiabilidade de produtos e processos através da análise sistemática de possíveis falhas e suas conseqüências, orientando na adoção de medidas corretivas ou preventivas. Para elaborar a FTA, a engenharia e a produção consideraram dois eventos de topo essenciais para o atendimento das características da qualidade demandada pelo cliente, ou seja, as condições de vazamento e montagem do tubo. Estes diagramas são mostrados nas Figuras 59 e 60. Os dados da FTA foram baseados em relatórios de não-conformidade dos clientes referentes a conexão **engate rápido** (dados históricos).

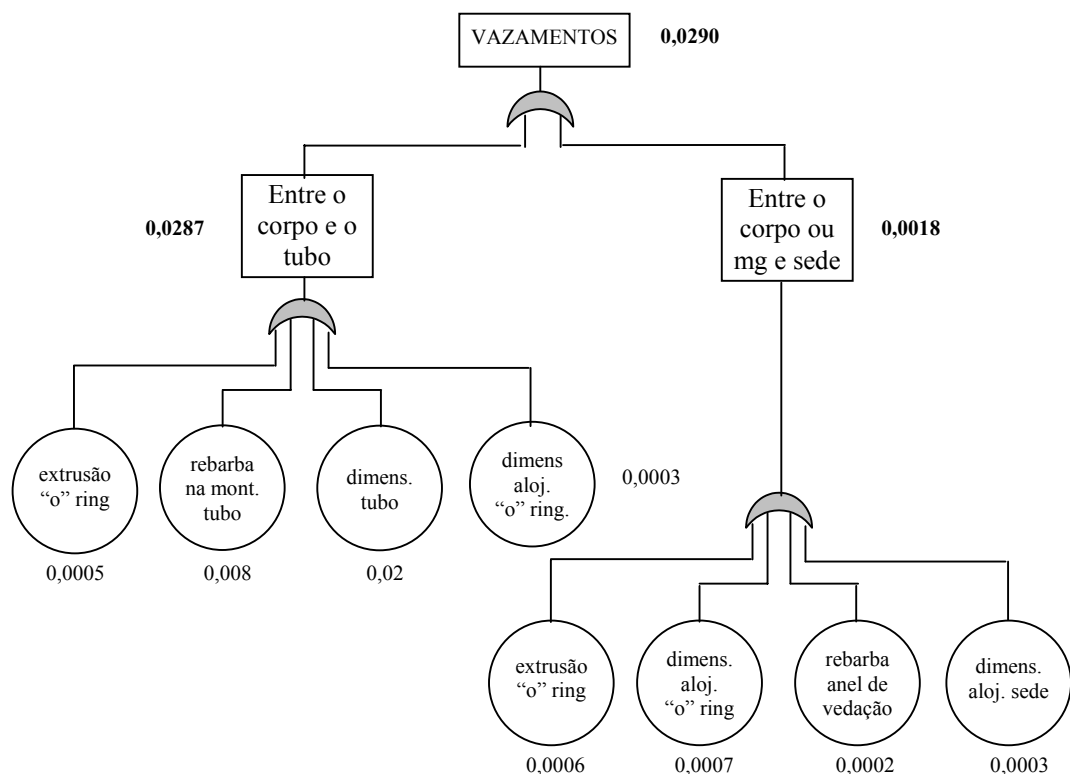


Figura 59 – FTA – Vazamentos

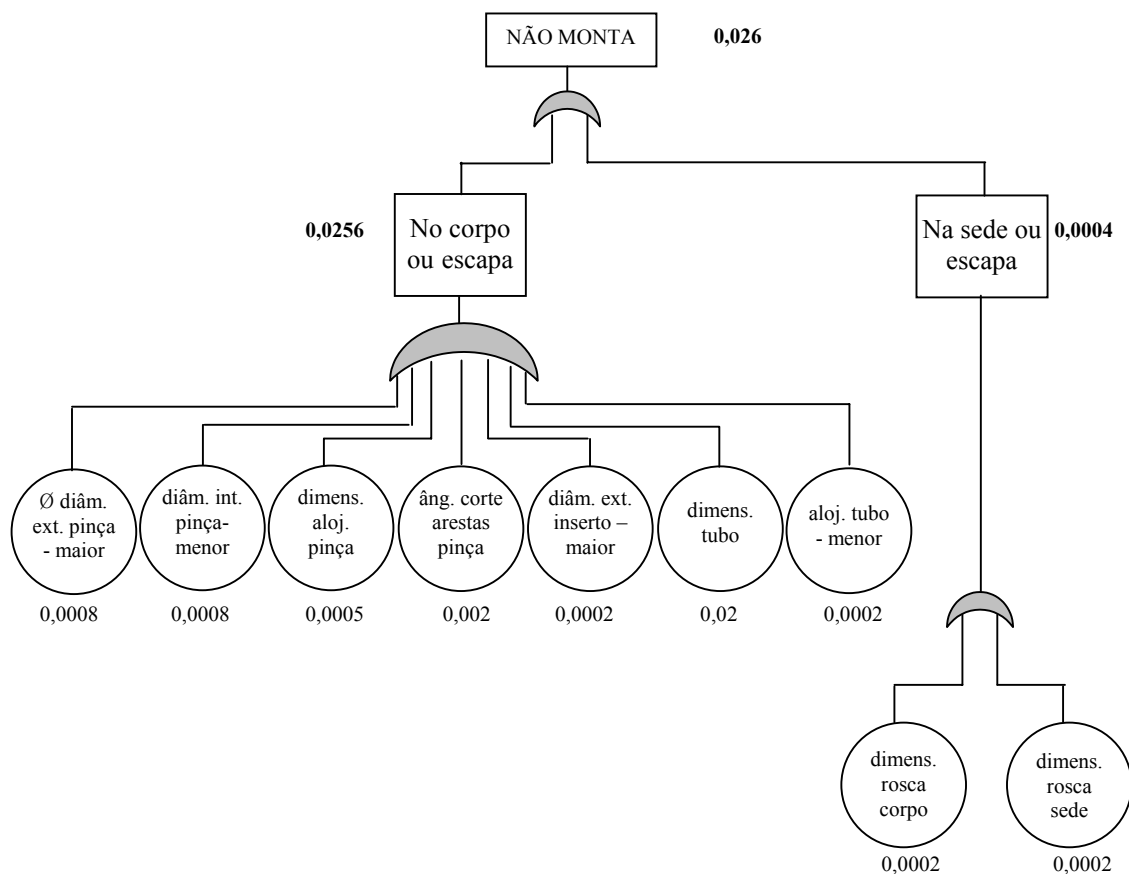


Figura 60 – FTA – Montagem do tubo na conexão

Os cálculos da probabilidade de falha dos dois eventos de topo essenciais, vazamentos e montagem do tubo foram calculados pela seguinte fórmula:

$$P(0) = 1 - \prod_{i=1}^I \{1 - P(E_i)\} \quad \text{eq. 15}$$

onde:

$P(0)$ é a probabilidade de falha dos eventos de topo.

$P(E_i)$ são os dados de falha dos componentes.

$I = n^\circ$ total de componentes.

Os resultados dos cálculos estão indicados nos diagramas 59 e 60 , sendo que os valores em **negrito** correspondem as probabilidades de falha calculadas. Estas probabilidades de falha foram consideradas aceitáveis pela empresa.

Com os dados desta duas FTA, foi elaborada uma instrução de trabalho para a linha de montagem do conjunto, de modo a neutralizar as causas básicas e dessa forma garantir que o produto final chegue ao cliente com as características da qualidade demandada.

A liberação para a produção constou da emissão dos desenhos definitivos, cadastro de peças, componentes e instruções de trabalho necessárias para o processo produtivo.

A. Inspeção visual e colocação do “o” ring no corpo

- a inspeção visual (Figura 61) consiste em verificações dos banhos (ausência de manchas, sinais de oxidação e conformidade da coloração com o padrão de estoque), das roscas (ausência de rebarbas e defeitos visíveis) e das conexões não-lineares (identificar defeitos de forja do tipo de falhas e má conformação);
- a colocação dos anéis “o” ring é feita com o auxílio de uma ferramenta específica e utilizando vaselina nesta operação.

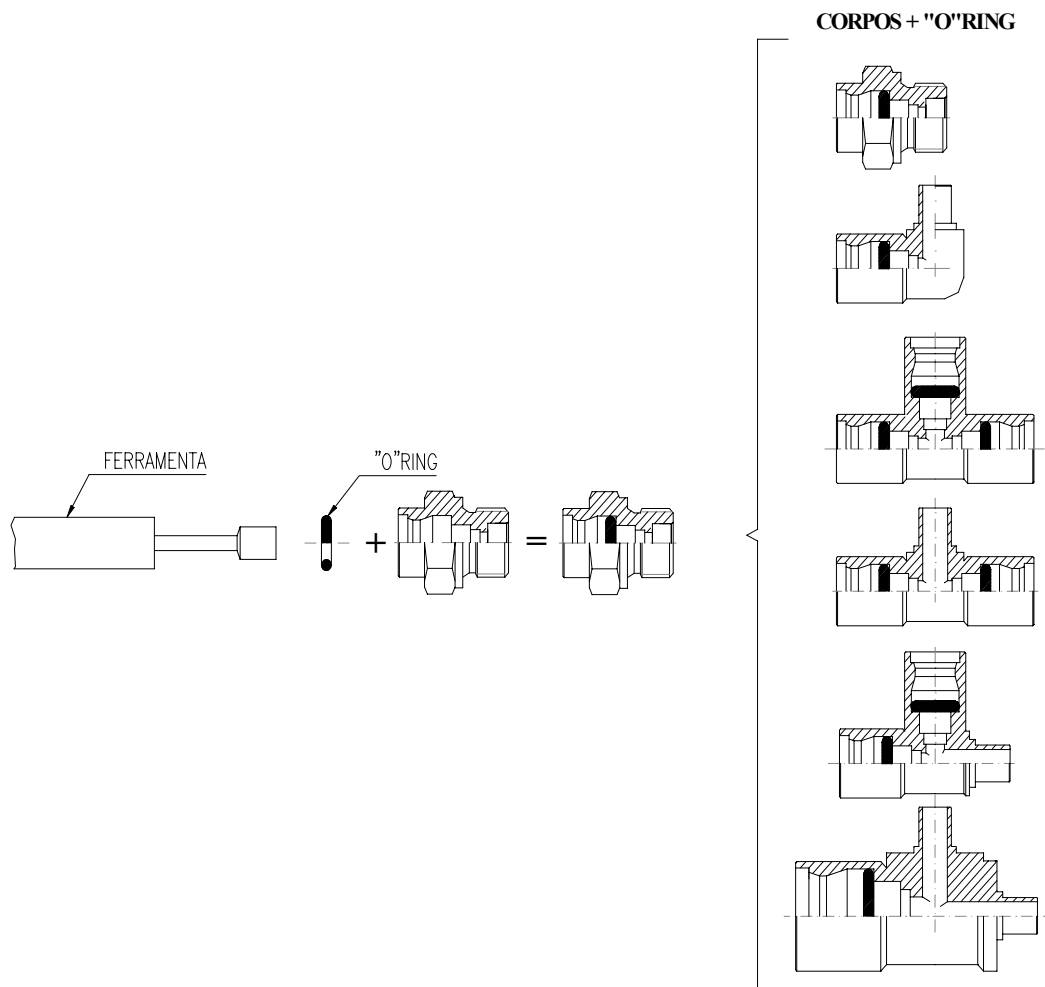
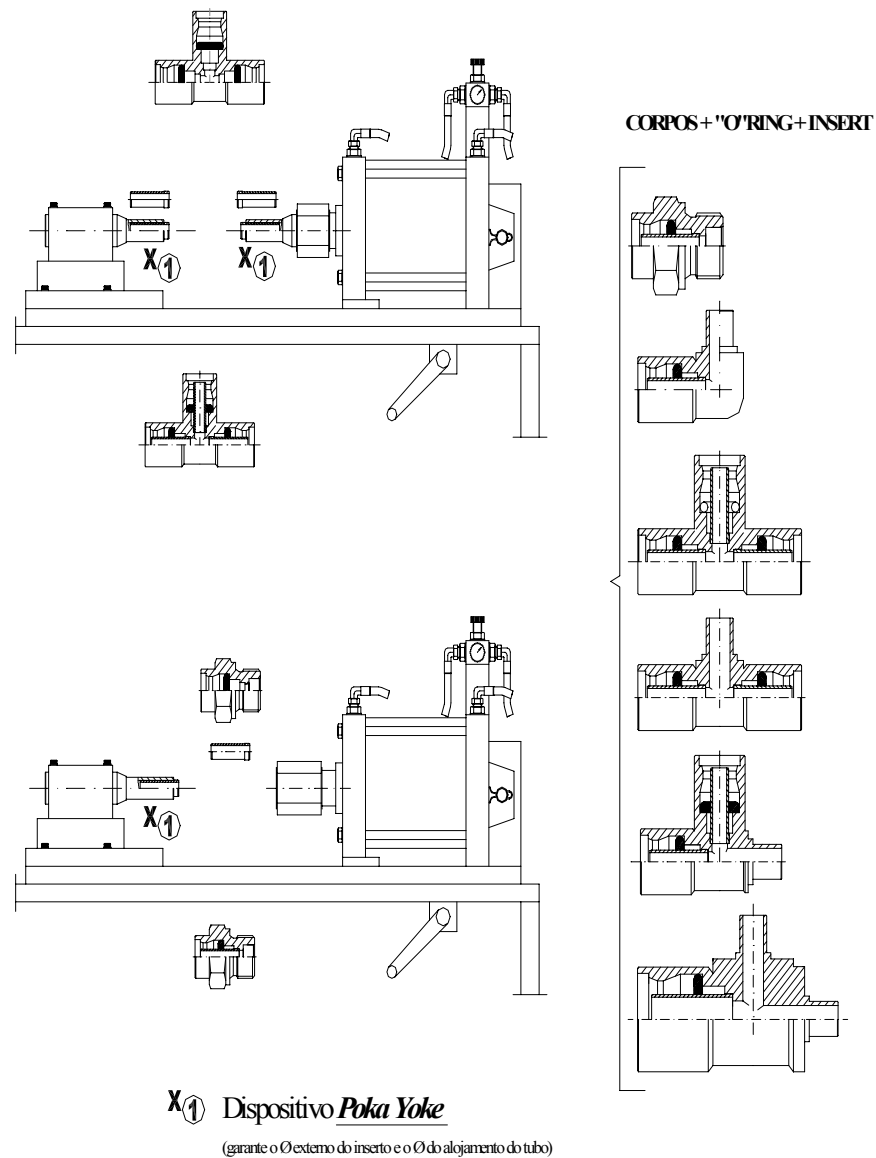


Figura 61 – Inspeção visual e colocação do “o” ring no corpo

B. Montagem do inserto

- a montagem do inserto (Figura 62) é feita com a utilização de um equipamento que utiliza um dispositivo *poka-yoke*. Segundo Ghinato (1996), *Poka-Yoke* é um mecanismo de detecção de anormalidades que, acoplado a uma operação, impede a execução irregular de uma atividade.



X1 Dispositivo Poka Yoke
(garante o Ø externo do inserto e o Ø do alojamento do tubo)

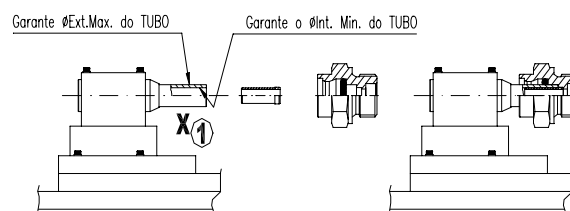


Figura 62 – Montagem do inserto

C. Colocação da pinça e anéis “o” ring no macho giratório

- a colocação da pinça (Figura 63) nos corpos lineares e não-lineares é feita manualmente;
- a colocação dos anéis “o” ring no macho giratório é feita manualmente, com o auxílio de uma ferramenta específica e utilizando vaselina nesta operação.

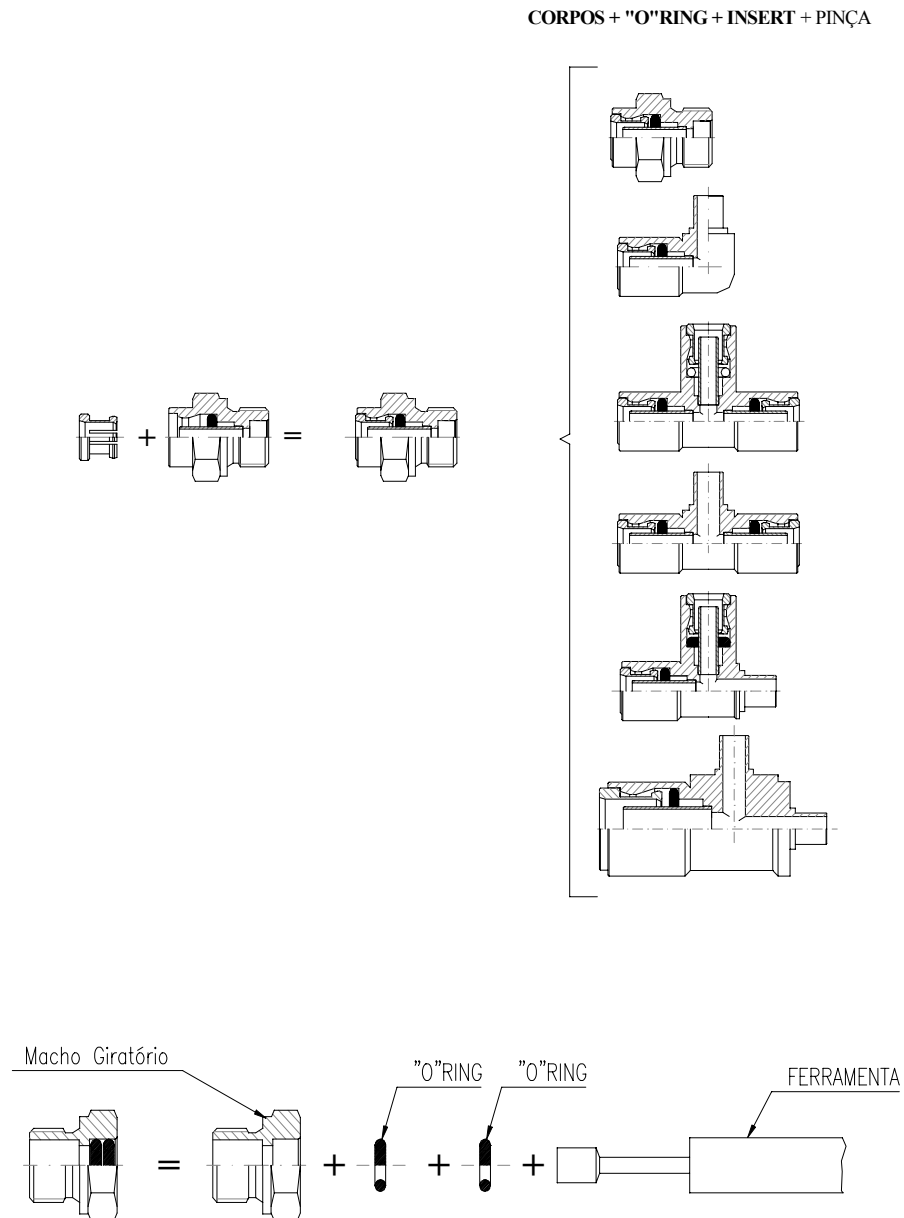


Figura 63 – Colocação da pinça e anéis “o” ring no macho giratório

D. Montagem do macho giratório e testes de obstrução, vazamento e retenção

- a montagem do macho giratório (Figura 64) é a operação de flangeamento da ponteira das conexões não-lineares, feita em dispositivo específico;
- os testes de obstrução é realizado, colocando-se adaptadores na conexão sem o tampão, para o teste de vazamento é colocado um tampão, mantendo sob pressão de teste de 3 a 4 segundos (100%);
- teste de retenção é realizado, conectando e desconectando um tubo padrão (100%).

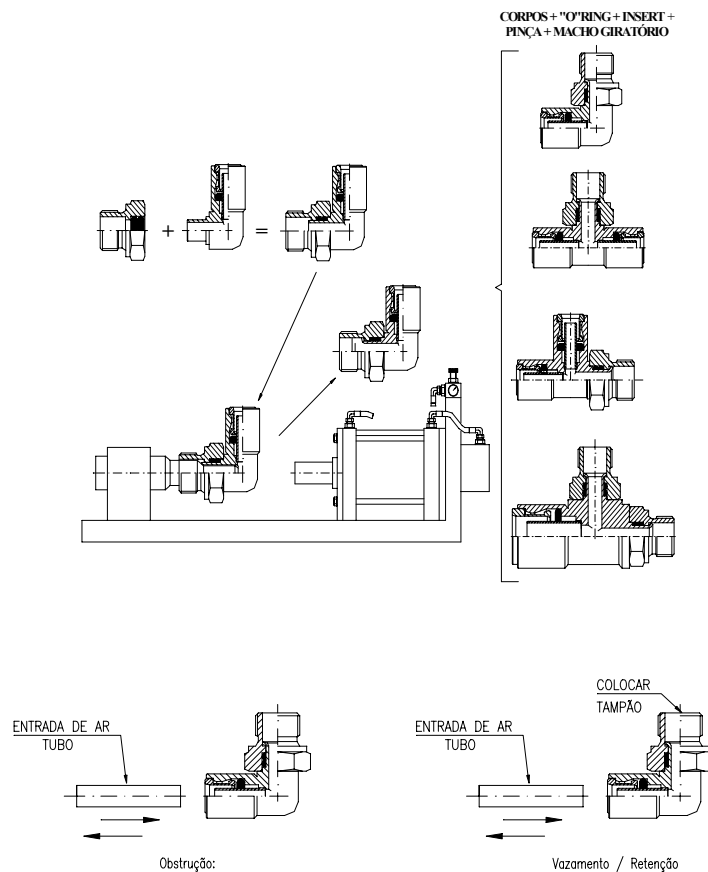


Figura 64 – Montagem do macho giratório e testes de obstrução, vazamento e retenção

E. Montagem do anel de vedação e “o” ring na conexão linear e no macho giratório

- a montagem do anel de vedação (Figura 65) e do anel “o” ring nas conexões lineares e no macho giratório é feita manualmente e utilizando-se vaselina nesta operação.

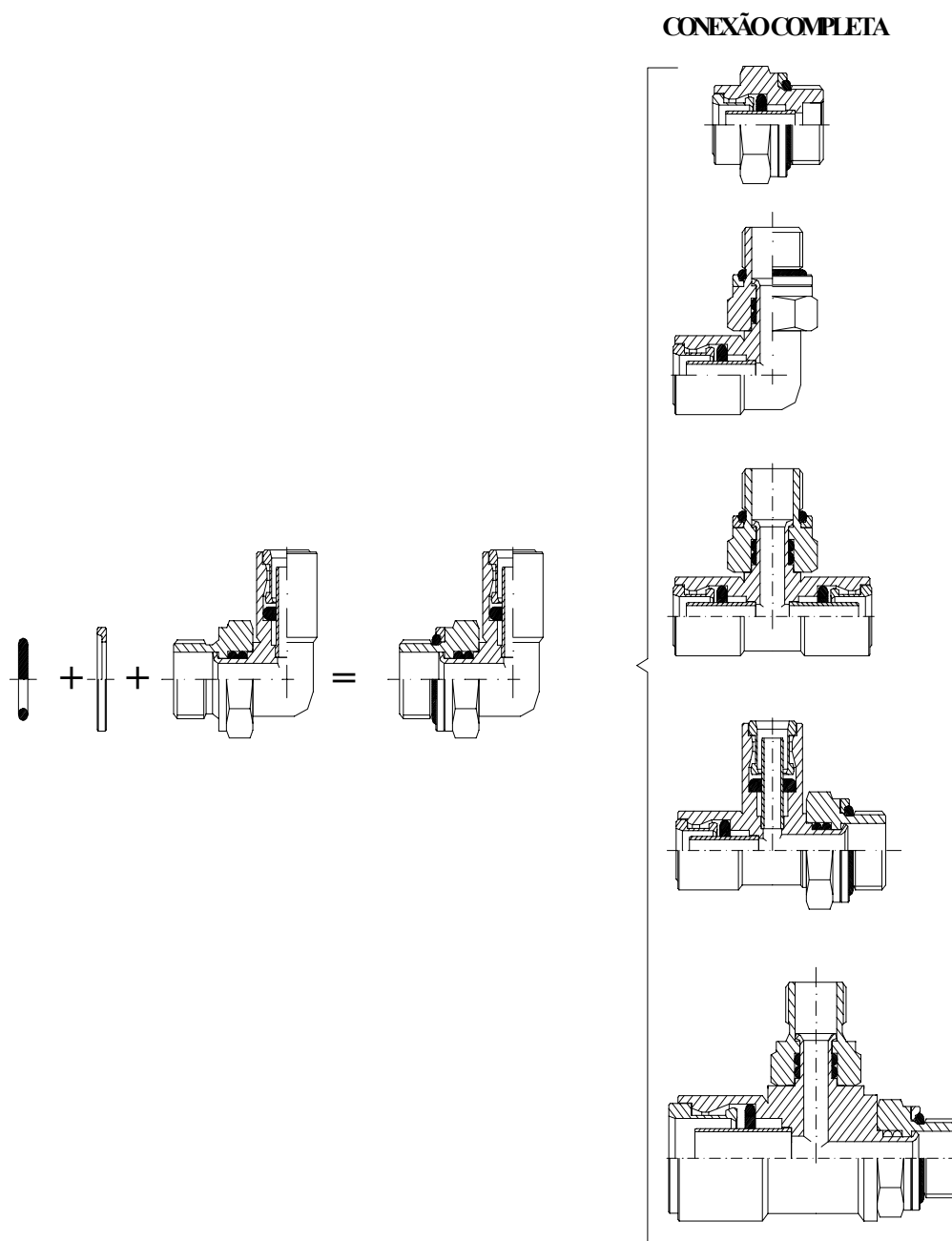


Figura 65 – Montagem do anel de vedação e “o” ring na conexão linear no macho giratório

A Figura 66 apresenta a família de produtos da **conexão proposta**. A empresa já produziu um lote piloto da **conexão proposta** para duas empresas fabricantes de semi-reboques. Os produtos produzidos foram aprovados nos testes de *performance* destas duas empresas e a comercialização está em tratativas referente aos custos.



Figura 66 – Família de produtos

7 CONCLUSÕES

Esta dissertação apresentou a aplicação de uma metodologia de desenvolvimento de produto em uma empresa de médio porte fabricante de conexões. O produto escolhido para ser desenvolvido foi uma conexão para circuitos de freio a ar, denominada **conexão proposta**. O desenvolvimento desta conexão é classificado segundo Ullman (1992), como desenvolvimento de produto criado pela melhoria de um produto existente usado em circuitos industriais. O desafio do desenvolvimento foi atender os requisitos dos clientes e as exigências da norma SAE J1131 e reduzir os custos.

A aplicação da metodologia para o desenvolvimento de um produto foi de grande valia para os participantes da força-tarefa pois permitiu que eles conhecessem todas as etapas de projeto e fabricação de um produto. O comprometimento dos participantes da força-tarefa com o sucesso do projeto de desenvolvimento foi maior e permitiu antecipar possíveis problemas já nas etapas de desenvolvimento do projeto preliminar.

O produto desenvolvido atendeu plenamente os requisitos do cliente e as exigências da norma. A resistência a vazamentos em condições de vibração medida pelo deslocamento do tubo foi nula, a resistência à tração foi de 165 kgf (maior que o mínimo de 150 kgf exigido pela norma SAE J1131) e a facilidade de montagem/desmontagem foi classificada como melhor (nota 9) do que a conexão atualmente utilizada em freios a ar, denominada **engate rápido**.

Com relação ao aspecto custo, a **conexão proposta** apresentou uma redução de 25,16% comparado com a conexão **engate rápido**. Para um cliente que consome, por exemplo, cem kits mensais significa uma redução de custo de R\$ 1.186,84.

A redução de custos, direcionada para as pequenas e médias empresas (PMEs), principalmente em função de fatores econômicos e da concorrência, condiciona o desenvolvimento de produtos e o uso de materiais e processos de menor custo; esta competitividade também está associada ao tempo de desenvolvimento do produto e de sua fabricação.

A adequação de produtos às nossas condições de uso, a processos disponíveis e à nossa situação cultural é uma grande oportunidade para possíveis avanços tecnológicos em relação a desenvolvimento de produtos e processos.

Pretende-se que a metodologia utilizada nesse estudo de caso seja uma prática comum na empresa para o desenvolvimento de produtos e processos existentes. A iniciativa de formar uma força-tarefa é um ponto de partida pois ajuda a resolver problemas simples no desenvolvimento de produtos nas PMEs.

Segundo a opinião do autor, a implantação de uma metodologia para o desenvolvimento de produtos requer duas condições básicas: o conhecimento e a autoridade. O conhecimento para propor as mudanças e a autoridade para decidir e sustentar os investimentos necessários.

Uma vez adotada a engenharia simultânea a cultura da empresa deve mudar. A direção deve aprender a conviver com o gerenciamento vinculado ao projeto. Deve haver uma compreensão de que o objetivo da engenharia simultânea é o da melhoria

contínua. Para isso, a fixação de metas é fundamental e estas devem ser revisadas e atualizadas regularmente.

A aplicação do QFD como tecnologia de apoio permitiu, com os desdobramentos das matrizes e priorizações, direcionar as características da qualidade, demandadas pelo cliente, para todo o processo de fabricação, desde a recepção de matéria-prima, componentes, usinagem, montagem, testes, até a expedição. O processo de desenvolvimento tende a torna-se ágil, existindo uma cumplicidade entre os envolvidos e, pela troca de conhecimentos e experiências, muitos problemas são resolvidos antecipadamente, a partir das matrizes que associam partes e processo. Em relação ao aspecto técnico, foram feitas comparações objetivas com a conexão **engate rápido**, auxiliando no processo produtivo e qualificando as especificações de matéria-prima e componentes. Para a equipe de trabalho, o QFD incentivou o relacionamento entre os diversos setores envolvidos e proporcionou a troca de conhecimento entre os participantes. Pôde servir como padrão para o desenvolvimento ou melhorias de produtos na empresa e permitiu avaliar o conhecimento tecnológico e os equipamentos disponíveis para a produção.

O projeto de experimentos permitiu, com um número reduzido de protótipos e tempo de ensaios, realizar a modelagem da demanda de qualidade dos clientes (resistência a vazamentos em condições de vibração, resistência à tração e facilidade de montagem/desmontagem) em função das características das partes e definir os valores alvos e especificações para cada uma delas. Em outra situação, os protótipos seriam testados no campo com tempos considerados longos.

Os valores definitivos para as características das partes, resultante do projeto de experimento, foram diâmetro externo da pinça de 21,0 mm, diâmetro interno de corte da pinça de 15,5 mm, largura do rasgo da pinça de 0,9 mm, espessura da pinça de 0,6 mm, profundidade do alojamento de 20,5 mm e comprimento do inserto de 32,3 mm.

É importante, ainda, salientar que, a partir desta metodologia adotada para o desenvolvimento de produto, a documentação envolvida deve tornar-se um eficiente banco de dados. Para projetos de novos produtos e melhorias nos já existentes este

banco de dados fornecerá informações que, com certeza, resultará em ganho de tempo no desenvolvimento.

A partir destas conclusões, algumas recomendações podem ser feitas para trabalhos futuros ou, até mesmo, para aprofundar o estudo de caso abordado.

1. Maior detalhamento da metodologia de desenvolvimento de produto apresentada neste estudo de caso; por exemplo, a aplicação de FMEA para o projeto qualificaria melhor o produto e proporcionaria um maior conhecimento para a equipe de projeto.
2. Aplicação da metodologia de desenvolvimento para um projeto inovador ou de raiz.
3. Maior detalhamento da etapa de levantamento e análise dos dados de entrada
4. Implantar um cronograma para a realização do projeto (fator tempo).
5. Consideração do fator tempo no desenvolvimento de produto como estratégia competitiva para as pequenas e médias empresas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAO, Y. *Quality Function Deployment; integrating customers requirements into product design*. Cambridge: Massachusets, Productivity Press, 1988.
- BACK, N. Metodologia de Projeto de Produtos Industriais. RJ: Guanabara dois, 1983.
- CASAROTTO, N.F., FAVERO J.S. & CASTRO, J.E.E. Gerência de Projetos/Engenharia Simultânea. São Paulo: Editora Atlas, 1999.
- CATEN, C.S. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). *Método de otimização de produtos e processos medidos por múltiplas características de qualidade*. Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.
- CHENG, L.C. [et al]. QFD – Planejamento da Qualidade no TQC. Belo Horizonte – MG: Fundação Christiano Ottoni, 1995.
- COLEMAN, D.E., MONTGOMERY, D.C. *A Systematic Approach to Planning for a Designed Industrial Experiment*. Technometrics, v.35, n.1, 1993.
- CUNHA, G.D. Desenvolvimento do Produto – Apostilas de Curso. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia. Porto Alegre: UFRGS, 1999.
- DRUMOND, F.B. QFD – Planejamento da Qualidade – Ouvindo o Cliente para o Planejamento do Produto. Belo Horizonte – MG: Fundação Christiano Ottoni, 1995.
- DUFOUR, C.A. Estudo do Processo e das Ferramentas de Reprojetado de Produtos Industriais. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia. Florianópolis: UFSC, 1996.
- FONSECA, C.J.C. [et al]. Terminologia do Aprimoramento Organizacional. Rio de Janeiro.: Qualitymark, 1997.

- GHINATO, P. Sistema Toyota de Produção, mais do que simplesmente Just-in-Time. Caxias do Sul: EDUCS, 1996.
- HARTLEY, J.R. Engenharia Simultânea. Porto Alegre: Bookamn, 1998.
- HAUSER, J.R., CLAUSING, Don. *The House of Quality*. Harvard Business Review, Maio/Junho 1988.
- HAUSER, J.R. *Desplague de la funcion de calidad*. Págs. da Web, 1999.
- HELMAN, H., ANDERY P.R.P. Análise de Falhas: Aplicação dos métodos de FMEA-FTA. Belo Horizonte – MG: Fundação Christiano Ottoni, 1995.
- HORTA, L.C., ROZENFELD, H. DfMA (*Design for Manufacturing and Assembly*). Págs. da Web, 1999.
- IDA. *Institute for Defense Analysis*. Relatório. Págs. da Web, 1999.
- ISO 9001 Modelo para a garantia da qualidade no projeto, desenvolvimento, produção, instalação e serviços associados. Normas de gestão da qualidade e garantia da qualidade. NBR ISO 9000, 1994.
- JURAN, J.M. A Qualidade desde o Projeto; Novos passos para o Planejamento da Qualidade em Produtos e Serviços. São Paulo: Pioneira, 1992.
- KING, Bob. *Better Designs in Half the Time*. Massachusets: GOAL/QPC, 1987.
- KOTLER, P. Revista Amanhã, Junho 1999.
- LAROUSSE. Enciclopédia Larousse Cultural. São Paulo: Nova Cultura, 1999.
- LORINI, F.J. Tecnologia de Grupo e Organização da Manufatura. Florianópolis: UFSC, 1993.
- MANZINI, Ezio. Artefactos. Hacia una nueva ecologia del ambiente artificial. Experimenta Ediciones de Diseño y Celeste Ediciones. Madrid, 1992.
- MONTGOMERY, D.C. *Design and Analysis of Experiments*. New York: Willey, 1991.

- PAHL & BEITZ W. *Engineering Design: a Systematic Approach*. Berlin: Springer-Verlag, 1988.
- RIBEIRO, J.L.D., DANILEVICZ, A.M.F., ECHEVESTE, M.E.S. Desenvolvimento da Função Qualidade e Pesquisa de Mercado – QFD – Apostilas de Curso. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia. Porto Alegre: UFRGS, 1999.
- RIBEIRO, J.L. CATEN, C.S., Aspectos Importantes na Avaliação da Função de Perda Quadrática Trabalho apresentado no XVI ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, realizado em Piracicaba, SP, out. 1996, e publicado em seus anais, vol. 1.
- RIBEIRO, J.L.D. FOGLIATTO, F.S. CATEN, C.S. *Minimizing Manufacturing and Quality Costs in Multiresponse Optimization*. Quality Engineering, 2000, No prelo.
- RIBEIRO, J.L.D., C. Projeto de Experimentos – PE – Apostila de Curso. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia. Porto Alegre: UFRGS, 1999.
- ROESCH, S.M.A. A dissertação de mestrado em administração: Proposta de uma tipologia. *Série Documentos para Estudo 14/94*. Programa de Pós-graduação em Administração, Porto Alegre: UFRGS, 1994.
- ROZENFELD, H. Conceitos Gerais de Desenvolvimento de Produto. Págs. da Web, 1999.
- ROZENFELD, H. Df.M.A *Design for Manufacturing and Assembly*. Págs. da Web, 1999.
- SAE J1131. SAE HANDBOOK. *Society of Automotive Engineers, Inc.*USA: Warrendale, 1998.
- SCAPIN, C.A., VILELA, R.M., QFD – Planejamento da Qualidade – Transmissão das Informações para a Produção. Belo Horizonte – MG: Fundação Christiano Ottoni, 1995.

SHNEIDER, H.M. A Engenharia Simultânea. TECHOJE. Págs. da Web, 1998.

SLAK, N. [et al]. Administração da Produção. São Paulo: Atlas, 1996.

TECHOJE. A Engenharia Simultânea e sua Importância Competitiva. Págs. da Web, 1999.

TOLEDO, J.C., AZEKA, F., AMARAL, D.C., Projeto Robusto/Método Taguchi. Págs. da Web, 1999.

ULLMAN, David G. *The Mechanical Design Process*. New York: Mc-Graw Hill, 1992.

WERKEMA, M.C.C., AGUIAR, S. Planejamento e Análise de Experimentos: Como Identificar as Principais Variáveis Influentes de um Processo. Belo Horizonte – MG: Fundação Christiano Ottoni, 1996.

Anexo 1 – Resultados das pesquisas com os pesos absolutos

QUESTÕES									
Questionários	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	9	10	5	8	5	10	8	7	4
2	8	9	4	6	3	8	9	7	3
3	8	9	7	6	4	8	9	10	3
4	9	8	4	10	6	8	10	7	6
5	9	8	5	6	4	8	9	10	3
6	9	8	5	6	3	8	9	7	4
7	10	9	4	7	3	9	8	9	3
8	8	9	4	6	3	10	9	8	4
9	9	10	4	8	5	10	9	8	5
10	10	8	5	7	6	9	8	10	5
11	9	10	4	6	6	10	8	9	6
12	9	10	4	6	5	10	9	8	4
13	8	9	5	10	5	9	8	10	4
14	10	9	5	8	3	9	10	8	3
15	9	8	6	5	4	9	10	8	5
16	9	8	6	10	7	9	8	10	6
17	9	8	5	9	6	9	10	8	5
18	10	9	4	8	5	8	10	9	5
19	9	10	4	8	5	8	9	9	4
20	8	10	5	6	4	8	10	7	5
21	10	9	7	10	2	9	8	7	3
22	9	10	4	9	6	8	10	9	6
Total	198	198	106	165	78	185	185	185	94
%	14,2	14,2	7,6	11,8	5,6	13,3	13,3	13,3	6,7

Anexo 2 – Otimização Função Perda Quadrática

Características de qualidade				Tipo de C. Q.	Lim Inf. Esp.	Alvo	Lim Sup. Esp.	Imp. Rel.							
Y1	Facilidade de montagem			Maior-é-melhor	3	9	9	2							
Y2	Resistência à vazamento			Menor-é-melhor	0	0	1,2	2							
Y3	Resistência à tração			Maior-é-melhor	150	170	170	1							
Fatores controláveis				Níveis											
X1	Diâmetro externo				22,1	22,2									
X2	Diâmetro interno				16,2	16,3									
X3	Espessura				0,42	0,63									
X4	Largura do rasgo				0,95	1,05									
Fatores controláveis															
Reais					Codificados										
				"-1 a +1	"-1 a +1	"-1 a +1	"-1 a +1	Simulador das caraq. qual.			Função de Perda				
X1	X2	X3	X4	X1	X2	X3	X4	Y1=Facilid	Y2=Resist a vazam	Y3=Resist a tração	Y1=Facilid	Y2=Resist a vazam	Y3=Resist a tração	Perda global	
22,1	16,2	0,42	0,95	-1	-1	-1	-1	9,08	1,20	131,67	0,00	2,00	3,67	5,67	
22,1	16,2	0,42	1,05	-1	-1	-1	1	8,08	1,04	133,33	0,05	1,51	3,36	4,91	
22,1	16,2	0,63	0,95	-1	-1	1	-1	8,92	1,07	137,50	0,00	1,58	2,64	4,22	
22,1	16,2	0,63	1,05	-1	-1	1	1	5,92	0,92	154,17	0,53	1,18	0,63	2,34	
22,1	16,3	0,42	0,95	-1	1	-1	-1	9,08	1,26	155,00	0,00	2,20	0,56	2,76	
22,1	16,3	0,42	1,05	-1	1	-1	1	5,08	1,10	141,67	0,85	1,68	2,01	4,54	
22,1	16,3	0,63	0,95	-1	1	1	-1	8,92	0,83	149,17	0,00	0,95	1,09	2,03	O ajuste ótimo é aquele que apresenta a menor perda: amostra 11
22,1	16,3	0,63	1,05	-1	1	1	1	2,92	1,28	154,17	2,06	2,29	0,63	4,97	
22,2	16,2	0,42	0,95	1	-1	-1	-1	3,09	0,67	197,50	1,94	0,62	1,89	4,45	
22,2	16,2	0,42	1,05	1	-1	-1	1	2,75	0,21	165,83	2,17	0,06	0,04	2,27	
22,2	16,2	0,63	0,95	1	-1	1	-1	2,92	0,23	198,33	2,05	0,08	2,01	4,14	
22,2	16,2	0,63	1,05	1	-1	1	1	0,58	0,39	171,67	3,94	0,21	0,01	4,16	
22,2	16,3	0,42	0,95	1	1	-1	-1	2,75	0,08	164,17	2,17	0,01	0,09	2,26	
22,2	16,3	0,42	1,05	1	1	-1	1	2,75	0,22	167,50	2,17	0,07	0,02	2,25	
22,2	16,3	0,63	0,95	1	1	1	-1	2,58	-0,06	196,67	2,29	0,00	1,78	4,07	
22,2	16,3	0,63	1,05	1	1	1	1	0,58	0,10	161,67	3,94	0,01	0,17	4,12	